

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

*Кафедра радіотехнічних
систем*

КУРС ЛЕКЦІЙ

із дисципліни

**СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ
З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

за темою:

**« ДИСТАНЦІЙНЕ
ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ »**

для студентів спеціальності 7.090703
“Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення”
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Тернопіль
2012

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

Кафедра радіотехнічних систем

КУРС ЛЕКЦІЙ

із дисципліни

**СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ
З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

за темою

**« ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ
ЗЕМЛІ»**

для студентів спеціальності 7.090703
“Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення”

Тернопіль
2012

Дистанційне зондування Землі. Лекційний матеріал для дисциплін “Системи супутникового зв’язку”, “Системи зв’язку з рухомими об’єктами”. -Тернопіль: ТНТУ, 2012– 58 с.

Методичні вказівки призначені для допомоги студентам у вивченні фізичних основ побудови супутникових комплексів дистанційного зондування Землі; структури, конструктивних та технічних характеристик сенсорних і локаційних пристроїв, розміщених на штучних супутниках Землі; роботи наземних систем прийому високошвидкісних потоків інформації від супутників дистанційного зондування Землі й тематичних напрямів опрацювання та використання інформації від дистанційного зондування поверхні Землі й атмосфери.

Укладач: ст. викл. каф. РТ Химич Г.П.

Рецензенти: проф., докт. техн. наук Лупенко С.А.,
доц., канд. техн. наук Умзар Ю.А.

Відповідальні за випуск: доц., канд. техн. наук Яськів В.І.
ст. викл. каф. РТ Химич Г.П.

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри радіотехнічних систем.
Протокол № 4 від 10.11.2011р.

Схвалено на засіданні методичної ради факультету ФРК.
Протокол №4 від 22.12. 2011р.

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

Скорочення

АЦП	аналогово-цифровий пристрій
БНК	бортовий навігаційний комплекс
ДЗЗ	дистанційне зондування Землі
ЕОМ	електронно-обчислювальна машина
КВП	командно-вимірювальний комплекс
ЛЕП	лінія електропередач
ЛЛ	лазерний локатор
лідар	лазерний локатор
НВЧ	надвисокі частоти
НKK	наземний комплекс керування
НС	наземна станція
СЗПД	система зв'язку передавання даних
УКХ	ультракороткі хвилі
ЦКП	центр керування польотом
ШСЗ	штучний супутник Землі
ALTM	тип лазерного локатора
Ethernet	стандарт мережі передавання інформації
ESA	європейське космічне агентство
IMU	inertial Measurement Unit
H,R,P	кути орієнтування в системі координат WGS - 84
HEO	високоеліптична орбіта
LEO	низька орбіта
MEO	середньовисока орбіта
MTPE	mission to Planet Earth
S- band	супутниковий діапазон частот (1,8...2,4) GHz
C- band	супутниковий діапазон частот (3,2...4,25), (5,7 ... 6,33) GHz
X- band	супутниковий діапазон частот (7,0 ...7,9), (8,0 ...10,6) GHz
TIM	time Interval Meter
oXYZ	геоцентрична система координат
GPS	global Position System
GOES	геостационарна метеорологічна система

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.....	5
2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ	7
2.1 Супутникові орбіти Землі.....	7
2.2 Діапазони частот.....	7
2.3 Теплове випромінювання тіл	8
2.4 Вплив атмосфери на процеси дистанційного зондування	12
2.5 Спектральні криві.....	14
3 СЕНСОРНІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ.....	15
3.1 Класифікація приладів	15
3.2 Фотографічні системи.....	17
3.3 Телевізійні системи	17
3.4 Принцип роботи скатерометра.....	18
3.5 Опис та різновиди радіометричних пристроїв	19
3.6 Опис спектрометра.....	23
3.7 Радіолокаційні системи зондування Землі	26
3.8 Радіовисотомір.....	28
3.9 Принципи функціонування лазерної локації.....	28
4 ОГЛЯД СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ	35
4.1 Особливості побудови наземних комплексів керування штучними супутниками Землі	35
4.2 Космічні системи, оснащені оптичною апаратурою із високою просторовою роздільною здатністю	37
4.3 Космічні системи, оснащені радіолокаційною апаратурою дистанційного зондування Землі	39
4.4 Космічні системи метеорологічного спрямування	41
4.5 Космічні системи моніторингу океану та дослідження атмосфери Землі	48
4.6 Космічна програма дистанційного зондування EOS	48
4.7 Обробка зображень дистанційного зондування Землі	49
5 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	53
6 ДОДАТКИ.....	56

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це метод отримання інформації про об’єкт, матеріал або явище за даними вимірювань, які здійснені на відстані від самого об’єкту спостереження, а саме, без прямого фізичного контакту з ним.

Перша фотографія земної поверхні була отримана за допомогою фотоапарата, який був встановлений на балістичній ракеті Fau-2 німецького виробництва, запущеного в 1945 році з американського ракетного полігону. До кінця 50-их років космічна зйомка поверхні Землі здійснювалася на висотах до 200 км виключно за допомогою апаратури, яка встановлювалася на балістичних ракетах та зондах. Початком систематичного огляду Землі із космосу можна вважати запуск 1 квітня 1960 року американського метеорологічного супутника Tiros-1.

На сьогодні можна виділити два основних напрямки в дистанційному зондуванні.

Перший пов’язаний із отриманням зображення поверхні Землі. У ньому увага акцентується на зображувальних аспектах даних вимірювань і використовуються методи аналізу, які базуються на процесі утворення зображень. Технологія, орієнтована на отримання зображень, більш досконало розроблена, є надійною та економічною для широкого кола прикладних задач.

Другий напрям орієнтується на кількісне представлення даних [3], які мають абстрактне трактування – як набір вимірювань. Даний напрям зазнав особливого розвитку в 50 – 60-их роках минулого століття, коли були досягнуті значні успіхи в області проектування сенсорних систем, особливо для вимірювання енергії в інфрачервоній ділянці спектру. Це дало можливість більш швидко і точно вимірювати та опрацьовувати багатоспектральні дані дистанційного зондування. Часто в системах, орієнтованих на кількісні дані, у ролі цільової апаратури використовується багатоспектральний сканер, який, у порівнянні із фотографічними системами, має більший динамічний діапазон у значно ширшій частині електромагнітного спектру.

У системі ДЗЗ можна виділити чотири основні складові:

- 1) носії знімальної апаратури – штучні супутники, літаки, аероплани та інші літаючі апарати;
- 2) знімальна апаратура дистанційного зондування (цільова апаратура);
- 3) бортові засоби прийому, опрацювання та передачі інформації на Землю по радіоканалу;
- 4) наземні комплекси прийому інформації, її тематичного опрацювання, архівування і передавання споживачам.

Поява космічних апаратів, які здійснюють зйомку поверхні Землі на регулярній основі, дає можливість проведення як оперативної зйомки, так і накопичення обширних архівів даних дистанційного зондування Землі із космосу. На сьогоднішній день практично вся поверхня земної суші та водної поверхні зафіксована космічною зйомкою при різних умовах спостереження (часу року, доби, хмарності й ін.).

Інформація, отримана із супутників ДЗЗ використовується у таких сферах людського життя:

- 1) сільське господарство;
- 2) землекористування;
- 3) лісове господарство;
- 4) контроль водних ресурсів;
- 5) спостереження прибережних зон та океанів;
- 6) кліматологія, контроль глобальних атмосферних явищ;
- 7) метеорологія;
- 8) геодезія;
- 9) картографія;
- 10) містобудування;
- 11) пошук корисних копалин та енергоносіїв;
- 12) моніторинг надзвичайних ситуацій.

Просторова роздільна здатність сучасних космічних апаратів сягає значень менше одного метра.

6 вересня 2008 року компанія GeoEye запустила супутник GeoEye-1, оснащений електронною апаратурою для зйомки земної поверхні в панхроматичному режимі із просторовою роздільною здатністю 41 см і в мультиспектральному режимі із роздільною здатністю 1,65 см.

На даний час існують системи дистанційного зондування, дані в яких можна отримувати безкоштовно – по мережі Internet. Як правило, це метеорологічні системи із низькою просторовою роздільною здатністю (1 км і менше) – METEOSAT, GOES, GMS. Із таких систем найбільше поширення та популярність набули дані із супутників NOAA, а саме, із сенсору AVHRR.

Зображення дистанційного зондування можна отримувати із супутників та аероносіїв. Космічні зображення зараз можуть мати практично такий самий масштаб та роздільну здатність, як і аерозображення. Однак аерознімання має свою нішу. Це найоперативніший спосіб для отримання даних високої роздільної здатності для конкретних невеликих територій і вона зазвичай дешевша у випадку надто високої роздільної здатності (десятки сантиметрів).

Системи дистанційного зондування Землі тісно пов'язані із системами супутникового зв'язку, оскільки використовують однакову технологію передачі інформації на Землю, мають схожу структуру носіїв. Системи ДЗЗ у деяких випадках використовують супутники систем зв'язку для передачі інформації на наземні комплекси.

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

2.1 Супутникові орбіти Землі

Існує три основних класифікації супутникових орбіт Землі:

1) залежно від нахилу до площини екватора:

екваторіальні ($\gamma=0^\circ$),

полярні ($\gamma=90^\circ$),

нахилені ($0^\circ < \gamma < 90^\circ$),

де γ - кут між площиною екватора та площиною руху супутника.

2) За типом орбіти: геостаціонарні та негеостаціонарні.

Негеостаціонарні поділяються на:

а) низькоорбітальні (LEO);

б) середньовисотні (MEO);

в) високоеліптичні (HEO);

3) За формою орбіти:

а) кругові;

б) еліптичні;

в) параболічні;

г) гіперболічні.

Оскільки ідеальних геостаціонарних та полярних орбіт не існує, то в даному випадку вони називаються наближено геостаціонарними та наближено полярними. Для ДЗЗ зазвичай використовуються супутники на геостаціонарних та навколо полярних низьких орбітах. Оскільки площина полярної орбіти перпендикулярна до площини повороту Землі, то через певний проміжок часу повороту Землі, супутник опиняється над необхідною ділянкою її поверхні. Між низькою та середньою орбітами знаходяться радіаційні зони, у яких супутники практично не літають через великий вплив радіації.

2.2 Діапазони частот ДЗЗ

Для дистанційного зондування Землі використовуються чотири частотні діапазони електромагнітного випромінювання: ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний та радіодіапазон. В таблиці 1.1 наведено частоти піддіапазонів.

Ділянка електромагнітного спектру із довжиною хвилі ($\lambda=0,38-3$ мкм) називається відбиваючою частиною спектра. Енергія, яка вимірюється в даній частині спектру, в основному складається із випромінювання Сонця та випромінювання відбитого від різних об'єктів на земній поверхні.

У проміжному інфрачервоному діапазоні ($\lambda=0,38-3$ мкм) практично не проводиться ДЗЗ із-за великого впливу атмосферних явищ.

Інфрачервоний діапазон хвиль ($\lambda=7\text{--}14\text{ мкм}$) отримав назву “тепловий”, оскільки більша частина вимірюваного випромінювання визначається власним тепловим випромінюванням об’єктів, розміщених на поверхні Землі. Слід зауважити, що випромінювання Сонця також присутнє в даному піддіапазоні, проте по величині воно менше за власне випромінювання ближчих об’єктів.

Таблиця 1

Частотні діапазони, які використовуються для дистанційного зондування

Назва діапазону		Довжина хвилі	Частота
Ультрафіолетовий		100А – 400 мкм	750 – 3000 ТГц
Видимий		400 нм – 760 нм	430 – 750 ТГц
Інфрачервоний	Ближній	760 нм – 1,3 мкм	230 – 430 ТГц
	Середній	1,3 мкм – 3,5 мкм	100 – 230 ТГц
	Проміжний	3,5 мкм – 7 мкм	38 – 100 ТГц
	Тепловий	7 мкм – 14 мкм	22 – 38 ТГц
	Дальній	14 мкм – 0,1 мм	3 – 22 ТГц
Субміліметровий		0,1 мм – 1 мм	0,3 – 3 ТГц
Радіо	Міліметровий	1 мм – 10 мм	30 – 300 ГГц
	Сантиметровий	1 см – 10 см	3 – 30 ГГц
	Дециметровий	0,1 м – 1 м	0,3 – 3 ГГц
	УКХ	1 м – 10 м	0,03 – 0,3 ГГц

2.3 Теплове випромінювання тіл

При пасивному методі сканування в інфрачервоному діапазоні джерелами електромагнітної енергії є розігріті до певної температури рідкі, тверді та газоподібні тіла. Згідно першого закону термодинаміки, всі тіла із однаковою температурою при термодинамічній рівновазі із навколишнім середовищем, випромінюють однаково. При цьому енергія, яка поглинається ділянкою поверхні в секунду, рівна енергії, яка випромінюється тією ж поверхнею за той самий проміжок часу.

Інтенсивність випромінювання (I) в заданому напрямку, який характеризується кутом (α) між нормаллю та випромінюваною поверхнею абсолютно чорного тіла, визначається законом Ламберта:

$$I = I_0 \cdot \cos(\alpha). \quad (2.1)$$

де I_0 - максимальна інтенсивність випромінювання при $\alpha = 0$.

Згідно формули Планка потік енергії, яка випромінюється в стані термодинамічної рівноваги одиницею поверхні абсолютно чорного тіла із температурою (T) в інтервалі довжин хвиль $\lambda, \lambda + d\lambda$ рівний:

$$B(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^2 \cdot \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} . \quad (2.2)$$

де $c_1 = 3,7415 \cdot 10^8 \text{ Вт} \times \text{мкм}^4 / \text{м}^2$,
 $c_2 = 14\,388 \text{ мкм} \times \text{К}$ – константи.

Повна енергія у всьому діапазоні довжин хвиль описується формулою Стефана-Больцмана:

$$\int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda = a \cdot T^4 . \quad (2.3)$$

Якщо подивитися на спектральний розподіл випромінювання абсолютно чорного тіла (рис. 2.1), то можна підмітити, що при різному значенні температури (T) залежність $B(\lambda, T)$ характеризується яскраво виділеним максимумом. Із збільшенням температури максимум зміщується в область коротких довжин хвиль, при чому добуток температури (T) та довжини хвилі залишається постійним.

У пасивних системах дистанційного зондування Сонце є первинним джерелом випромінювання, його енергія рівномірно розподілена в електромагнітному спектрі.

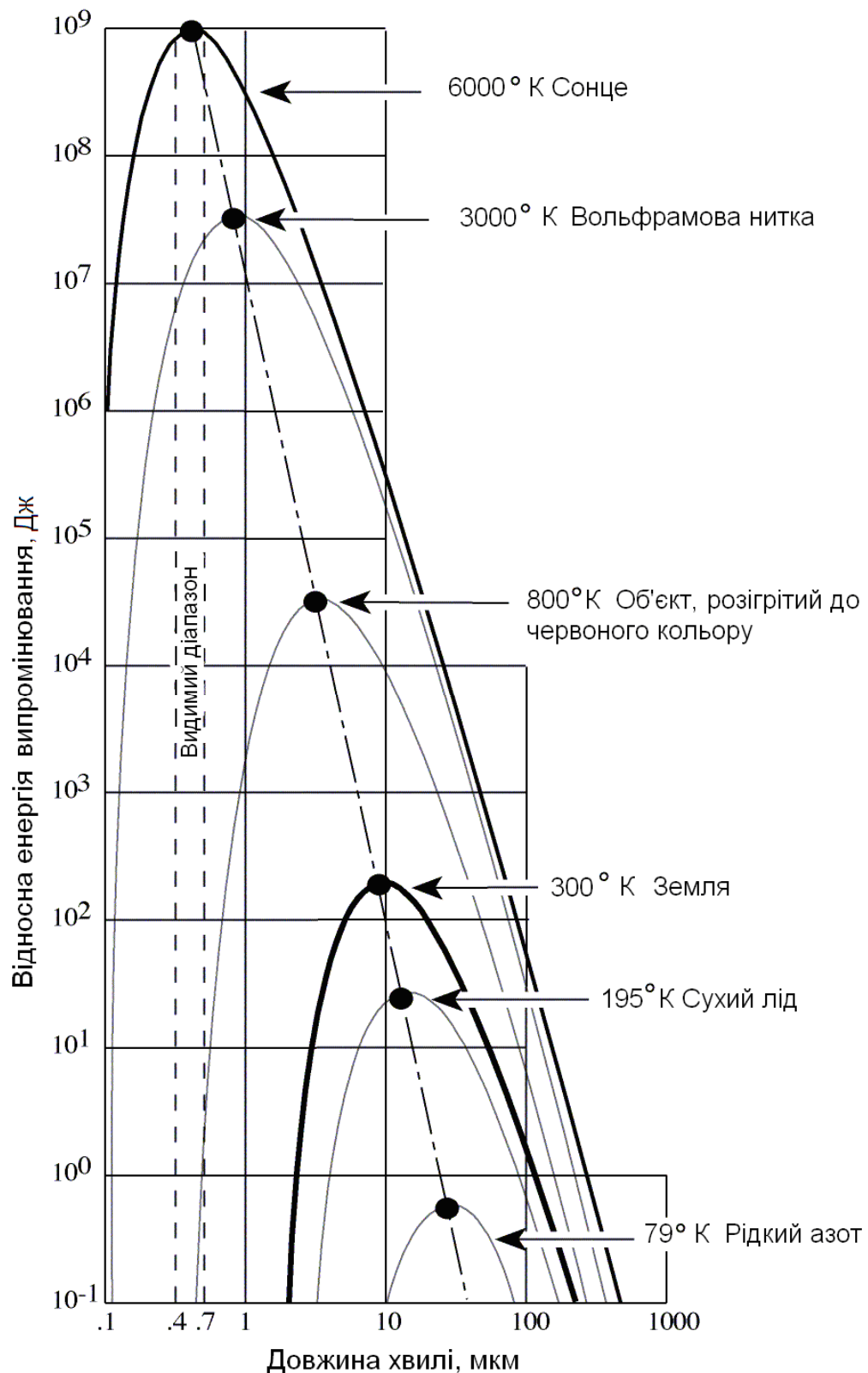


Рисунок 2.1. Відносна енергія випромінювання абсолютно чорного тіла при різних температурах

На рис. 2.2 представлено графік сонячної спектральної густини енергетичної освітленості в залежності від довжини хвилі. Спектр сонячного випромінювання за межами атмосфери є рівномірним і близьким до спектру випромінювання енергії абсолютно чорного тіла із

температурою 6000K. Відмінність кривої випромінювання Сонця, яка спостерігається за межами земної атмосфери, від кривої випромінювання Сонця, яка спостерігається на земній поверхні зумовлена впливом атмосфери на сонячне випромінювання, під час проходження через атмосферні повітряні маси до земної поверхні.

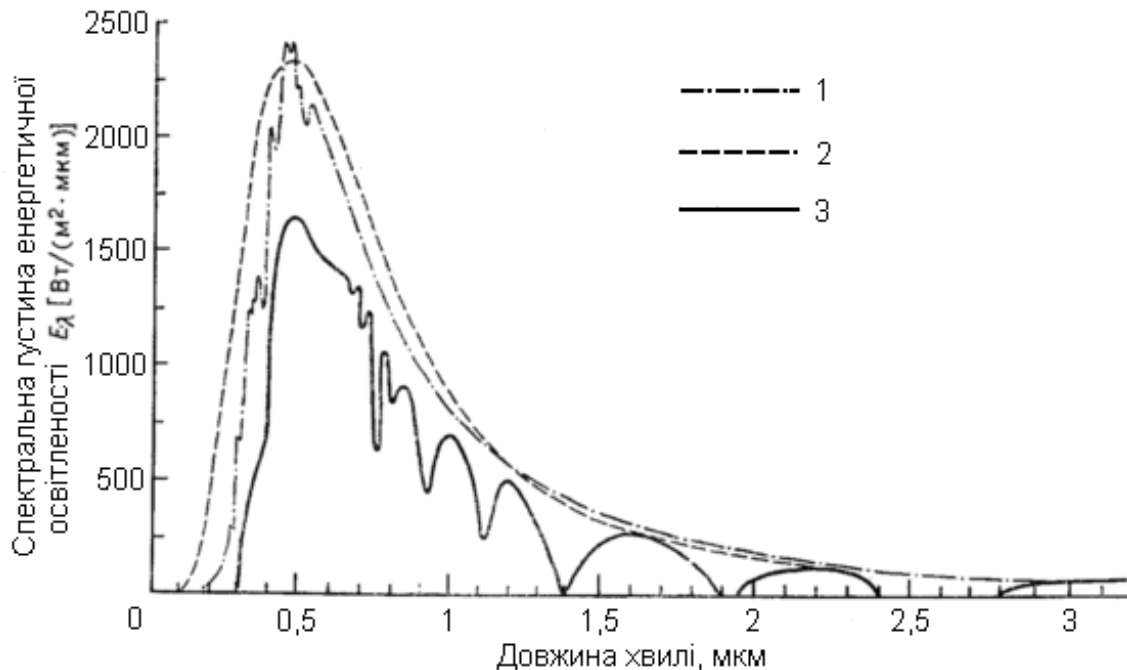


Рисунок 2.2. Сонячна спектральна густина енергетичної освітленості:

1 - крива випромінювання Сонця, яка спостерігається за межами атмосфери Землі,

2- крива випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 6000 K,

3- крива випромінювання Сонця, яка спостерігається на поверхні Землі.

При проведенні фотографування Землі із космосу на довжині хвилі менше 4 мкм реєструється енергія Сонця, відбита і розсіяна поверхнею суші, води та хмар. При температурі поверхні (фотосфери) Сонця, що дорівнює 5785 K, як показано на рис 2.2, максимум випромінювання знаходиться на 0,5 мкм довжини хвилі.

На довжинах хвиль більше 4 мкм власне теплове випромінювання Землі переважає випромінювання сонця. Реєструючи інтенсивність теплового випромінювання Землі із космосу, можна достатньо точно оцінити температуру Землі та водної поверхні. Визначивши температуру верхньої границі хмарності, можна визначити її висоту, якщо врахувати, що в тропосфері із висотою температура зменшується в середньому на 6,5град./км.

При реєстрації теплового випромінювання зі супутників використовується інтервал довжин хвиль 10-14 мкм, у якому поглинання атмосферне невелике. Якщо температура земної поверхні (хмар) рівна мінус 50°C, максимум випромінювання припадає на 12 мкм, при +50°C – на 9 мкм.

Якщо за допомогою сенсорного давача, встановленого на супутнику, виміряний потік енергії потужності (В) від деякого об'єкту, то із (1.1) отримаємо:

$$T = \left(\frac{\lambda}{c_2} \right) \ln \frac{c_1}{\lambda^2 \cdot B + 1}. \quad (2.4)$$

Визначена за інтенсивністю (В) теплового випромінювання температура (Т) називається радіаційною, на відміну від термодинамічної температури, яка характеризує інтенсивність теплового руху молекул речовини. Для абсолютно чорного тіла ці дві температури співпадають, а для реальних об'єктів – ні, оскільки для них величина (В) складає деяку долю (ε) від густини потоку потужності випромінювання, яка випромінюється абсолютним чорним тілом при тій же температурі. (ε) називається коефіцієнтом теплового випромінювання. Наприклад в тепловому інфрачервоному діапазоні коефіцієнт теплового випромінювання найближче всього до 1, для води 0,98-0,99, для свіжого снігу 0,986, для густої трави 0,970.

2.4 Вплив атмосфери на процеси дистанційного зондування Землі

Вплив земної атмосфери спричинює значні спотворення інформації, отриманої із сенсорних пристроїв, які встановлені на літаючих апаратах. Розглянемо основні фактори, що спричинюють спотворення при ДЗЗ.

Ефект Фарадея. Внаслідок ефекту Фарадея виникає фазова дисперсія сигналів. Ефект Фарадея пов'язаний із тим, що при проходженні через атмосферу лінійно поляризована хвиля під дією магнітного поля Землі розщеплюється на дві складові, які поширюються в іоносфері із різними швидкостями. У результаті додавання цих складових у точці прийому, площина поляризації результуючої хвилі буде повернута на певний кут. Величина цього кута залежить від концентрації електронів в іоносфері та напруженості геомагнітного поля вздовж шляху проходження радіохвиль в іоносфері.

Поглинання в гідрометеорах. У діапазонах частот вище 500 МГц основне поглинання визначається газами тропосфери – киснем і водяними парами, а також дощем, снігом, туманом та іншими опадами.

Інфрачервоне випромінювання, проходячи через атмосферу, вибірково поглинається, в зв'язку із чим теплову зйомку можна вести тільки у зоні

розміщення так званих "вікон прозорості" (рис. 2.3) - місць пропускання інфрачервоних променів. Дослідним шляхом виділено чотири основних вікна прозорості (в мкм): 0,74-2,40; 3,40-4,20; 8,0-13,0; 30,0-80,0. Деякі дослідники виділяють більше число вікон прозорості. У першому вікні (до 0,84 мкм) використовується відбите сонячне випромінювання.

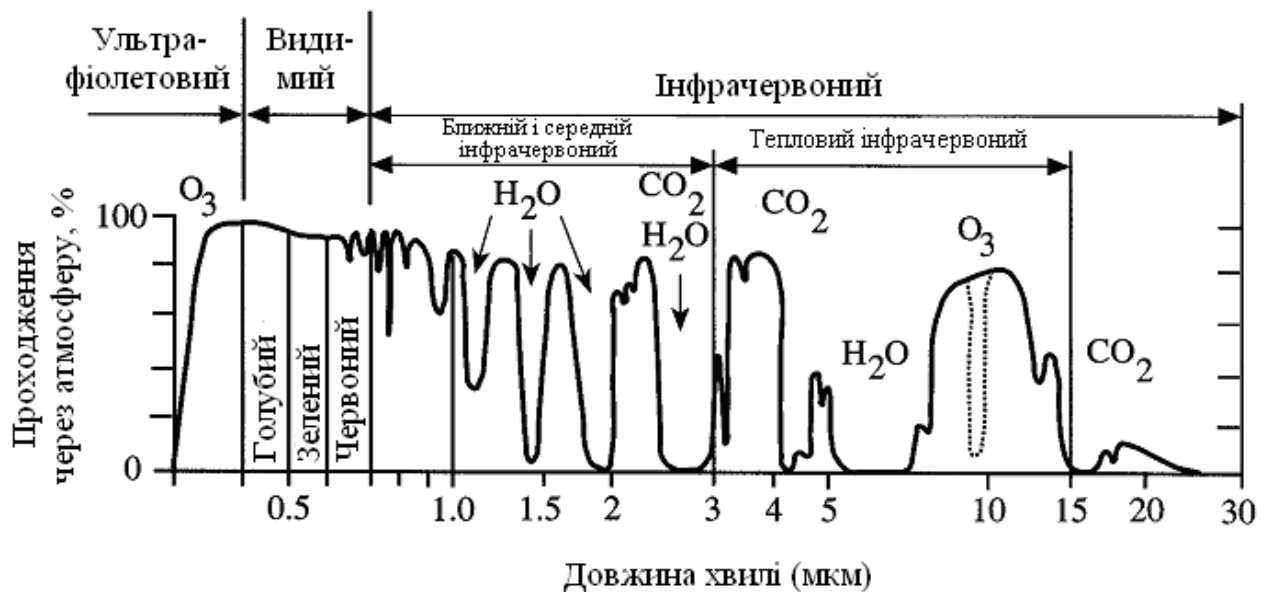


Рисунок 2.3 Спектр затухання електромагнітних хвиль в атмосфері

В оптичному діапазоні найбільші завади виникають через хмарність. Як правило, в кожен момент часу вона покриває більше 50% поверхні земної кулі. Для планування часу проведення зйомок складають карти, які характеризують глобальний розподіл зон стійкої хмарності.

Відносна дисперсія виникає внаслідок проходження через іоносферу широкосмугового сигналу, який спотворюється внаслідок поширення його спектральних складових із різною швидкістю. Це призводить до виникнення різниці затримок між нижньою та верхньою частотами спектру сигналу.

Розсіювання променів в атмосфері. Даний ефект полягає у відбитті чи заломленні випромінювання частинками молекул газів (аерозолів) та гідрометеорами (водяні краплі, сніг, град, тощо). Найбільше вплив розсіювання проявляється у синій та голубій зонах видимого спектру від 0,38 мкм до 5 мкм. При цьому знижується контрастність зображення, спотворюються кольори об'єктів. Саме внаслідок переважаючого впливу розсіювання в цій ділянці діапазону небо набирає синього забарвлення.

У залежності від довжини хвилі розрізняють розсіювання Мі, Релея та неселективне.

Рефракція – атмосферно-оптичне явище, яке виникає внаслідок заломлення світових променів в атмосфері. Рефракція призводить до викривлення траєкторії сигналу при його проходженні через атмосферу. Іоносферна рефракція обернено-пропорційна квадрату частоти і стає дуже

малою на частотах, менших 5 ГГц. Тропосферна рефракція не залежить від частоти. Прикладами рефракції є сплюснута форма дисків Місяця та Сонця.

2.5 Спектральні криві

Будь-який матеріал, при його опромінюванні штучним чи сонячним випромінюванням, здатний його поглинати, відбивати або генерувати власне випромінювання. Причому ці властивості залежать від довжини хвилі. За допомогою цього ефекту можливо проводити ідентифікацію матеріалу за їх спектральними відгуками (спектральними кривими). Приклади деяких спектральних кривих представлені на рис. 2.4.

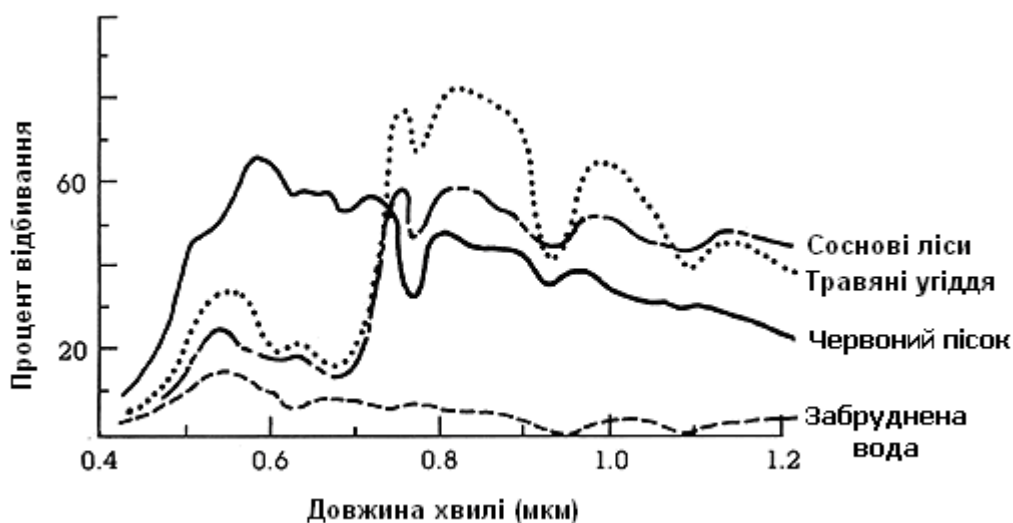


Рисунок 2.4 Спектральні криві

Для прикладу, вода характеризується більшим поглинанням променів із більшою довжиною хвилі. Тому морська поверхня має синій колір на фотографіях, зроблених у короткохвильовому діапазоні видимої ділянки спектру, та темний колір у межах ближнього інфрачервоного діапазону. На певній довжині хвилі пісок відбиває більше енергії, ніж трав'яні угіддя, тоді як на іншій ділянці спектру пісок абсорбує більше за рослинність. Це дозволяє на основі цієї інформації створювати бібліотеки спектральних кривих різних земних матеріалів для автоматизованого виділення класів об'єктів земної поверхні на зображеннях [2].

3 ОПИС АПАРАТУРИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

3.1 Класифікація приладів

Обладнання, яке використовується у дистанційному зондуванні, поділяється на дві великі групи: системи спектральних даних та системи формування зображень. Зазвичай, системи спектральних даних не формують зображення, а дозволяють отримати детальну спектральну інформацію про об'єкт. Системи формування зображень дають інформацію відносно просторової структури об'єкту і деякі спектральні дані.

Спектральні дані отримують шляхом спектрального сканування (на відміну від просторового сканування у системах формування зображення). Системи формування зображень поділяються на два типи: кадрові та порядково - скануючі системи. У кадрових системах всі елементи зображення (пікселі) отримуються одночасно в основній одиниці зображення - кадрі. У скануючих системах елементи зображення отримуються послідовно, але після збереження можуть бути конвертовані у формат кадру. Обидва типи таких систем дають спектральну інформацію, зазвичай утворюючи багатоспектральні елементи зображення, які складаються із набору вимірювань у вибраних діапазонах довжин хвиль спектру.

Дія пасивних сенсорних пристроїв базується на сприйнятті енергії, яка випромінюється зовнішніми джерелами (Сонце, власна температура Землі). В активних знімальних пристроях обов'язково є присутнє наявне внутрішнє джерело випромінювання.

Для проведення дистанційного зондування у різних діапазонах використовуються фотографічні, телевізійні, лазерні, радіолокаційні та теплові системи.

На рис. 3.1 наведено класифікацію сенсорних пристроїв дистанційного зондування.

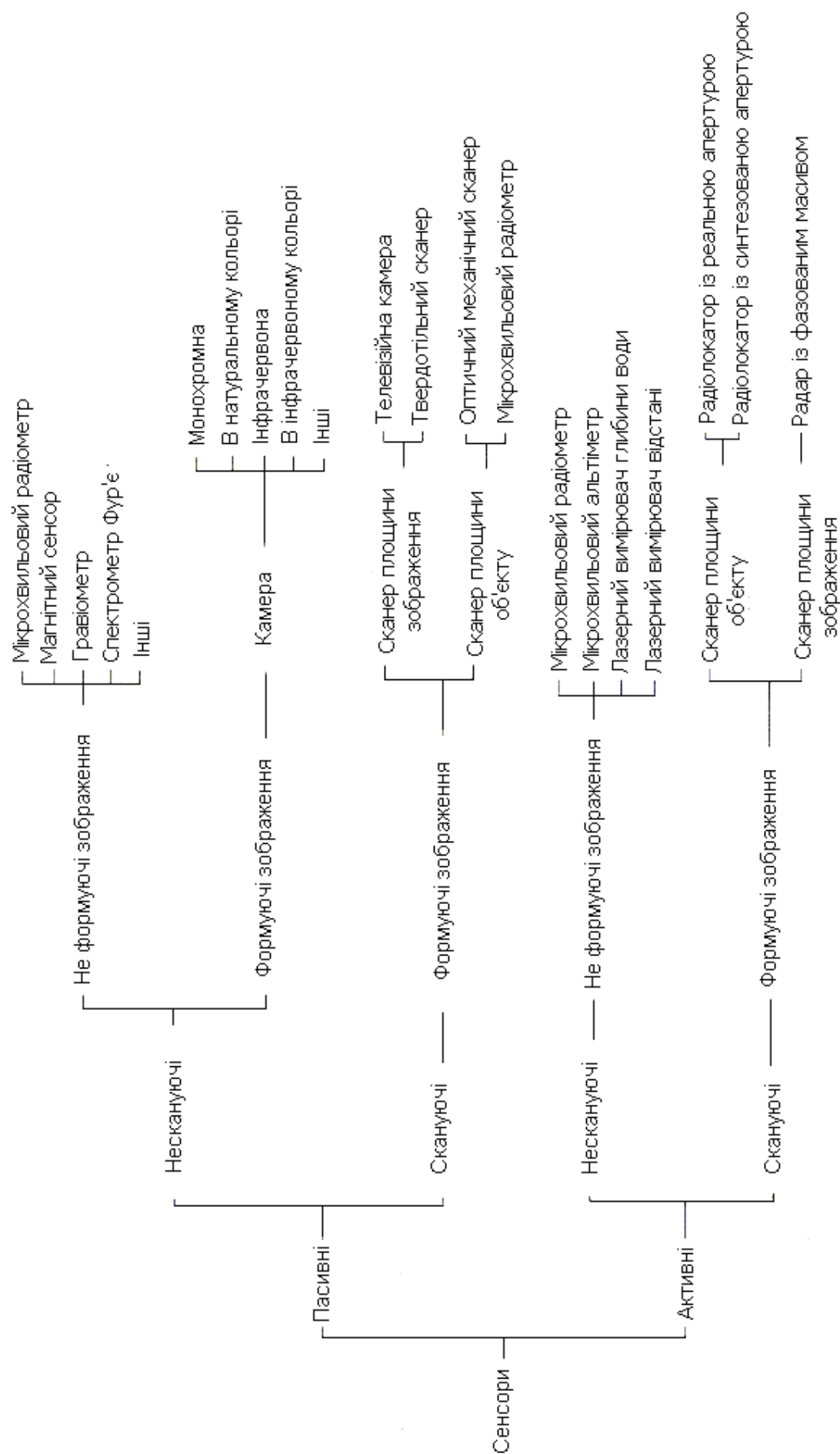


Рисунок 3.1 -- Класифікація сенсорних пристроїв

3.2 Фотографічні системи

У фотографічній системі плівка виступає в ролі детектора, а об'єктиви, які фокусують зображення на площині плівки - в ролі оптичної системи. У фотографічній системі всі дані про зображення отримуються одночасно. Плівка, яка використовується у фотографічній системі як детектор, у порівнянні із багатоспектральною сканерною системою, має додаткові обмеження, а точніше відносно обмежений спектральний діапазон. Однак, у порівнянні із багатоспектральними сканерними системами, фотографічні системи характеризуються дуже високою просторовою роздільною здатністю. Високотехнологічність, а також відносно низька вартість фотографічних систем у порівнянні із багатоспектральними сканерними системами, сприяє широкому використанню її у дистанційному зондуванні.

Оптична частина фотографічної системи призначена для формування покадрового зображення, і тому її поле огляду відносно велике у порівнянні із миттєвим полем огляду порядково-прямолінійного сканера. Поле огляду деяких фотографічних систем може досягати 800 км і більше.

Фотографічні системи бувають щілинними, панорамними та кадровими.

Щілинний фотоапарат - спеціальний аерофотоапарат для щілинного повітряного фотографування. Витримка в цільовому аерофотоапараті регулюється швидкістю руху аероплівки і шириною експозиційної щілини. Перемотування аероплівки здійснюється повертаючим фокальним барабаном, на якому одночасно відбувається вирівнювання і експонування аероплівки. Синхронізація швидкостей руху аероплівки і оптичного зображення місцевості відбувається візуально або інструментально (по висоті та швидкості польоту). Двощілинні фотоапарати виконують одночасно нахилене і планове фотографування або нахилене вперед і назад (отримані в цьому випадку щілинні аерофотографії складають стереопари), двохоб'єктивні фотографують одночасно в двох масштабах: малому (широкої смуги місцевості) і великому (вузької смуги) для дешифрування. Підвищений світовий баланс щілинного аерофотоапарата дозволяє фотографувати підчас сумерків.

3.3 Телевізійні системи

Електронні формуючі системи зображення, мають схожість із фотографічними системами в тому, що вони утворюють зображення на фотоелектричній поверхні подібно тому, як у фотографічних системах воно утворюється на фотохімічній поверхні. Зазвичай ці системи містять затвор, оптичну систему і, у деяких випадках, систему компенсації змазування (низької контрастності) зображення, подібні тим, які входять в стандартну фотокамеру. Оскільки телевізійна система є покадровим пристроєм, який

збирає дані і заповнює кадр практично миттєво, немає необхідності в точному контролі положення сенсору, як це вимагається для рядково-прямолінійного сканера. Хоча електронно-променеві телевізійні системи, зазвичай, отримують зображення у вигляді, аналогічному тому, який отримує фотографічна система, зображення, індуковані на фотоелектричній поверхні, обробляються електронним, а не хімічним шляхом, і піддаються швидкій електронній передачі із платформи сенсору на приймальну станцію.

На сучасних космічних апаратах телевізійні системи використовуються в основному для отримання зображення із середньою роздільною здатністю.

3.4 Принцип роботи скатерометра

Скатерометри призначені для вимірювання характеристик розсіювання поверхонь. Дія даної системи базується на вимірюванні залежності абсолютної величини питомої ефективної площі розсіювання морської поверхні і рівня її анізотропії в азимутальній площині від швидкості і напрямку приводного вітру. Скатерометр створюється на основі радіолокаційної станції із неперервним випромінюванням, що дозволяє забезпечити достатньо великий енергетичний потенціал при малій випромінювальній потужності здійснювати селекцію відбитих сигналів по доплерівському зсуву частоти.

Радіолокаційна система скатерометру (рис. 3.2) випромінює мікрохвильові імпульси і приймає відбиті від поверхні сигнали. Інтенсивність зворотного сигналу залежить від шорховатості поверхні. Для морської поверхні шорховатість поверхні прямопропорційно залежить від швидкості приводного вітру. Для визначення напрямку вітру параболічна відбиваюча антена скатерометра повертається із точно відкаліброваною швидкістю і випромінює два окремих промені приблизно на відстані 6° , кожен із яких є неперервним потоком імпульсів. У процесі руху супутника орбітою кожна комірка, для якої визначається напрямок і швидкість вітру, продивляється багаторазово при різних азимутах “вперед” і “назад” за курсом руху супутника. Багатократні вимірювання зворотного розсіювання при горизонтальній та вертикальній поляризаціях сигналу, отримані при різних азимутах, дозволяють визначити напрямок та швидкість вітру для кожної комірки.

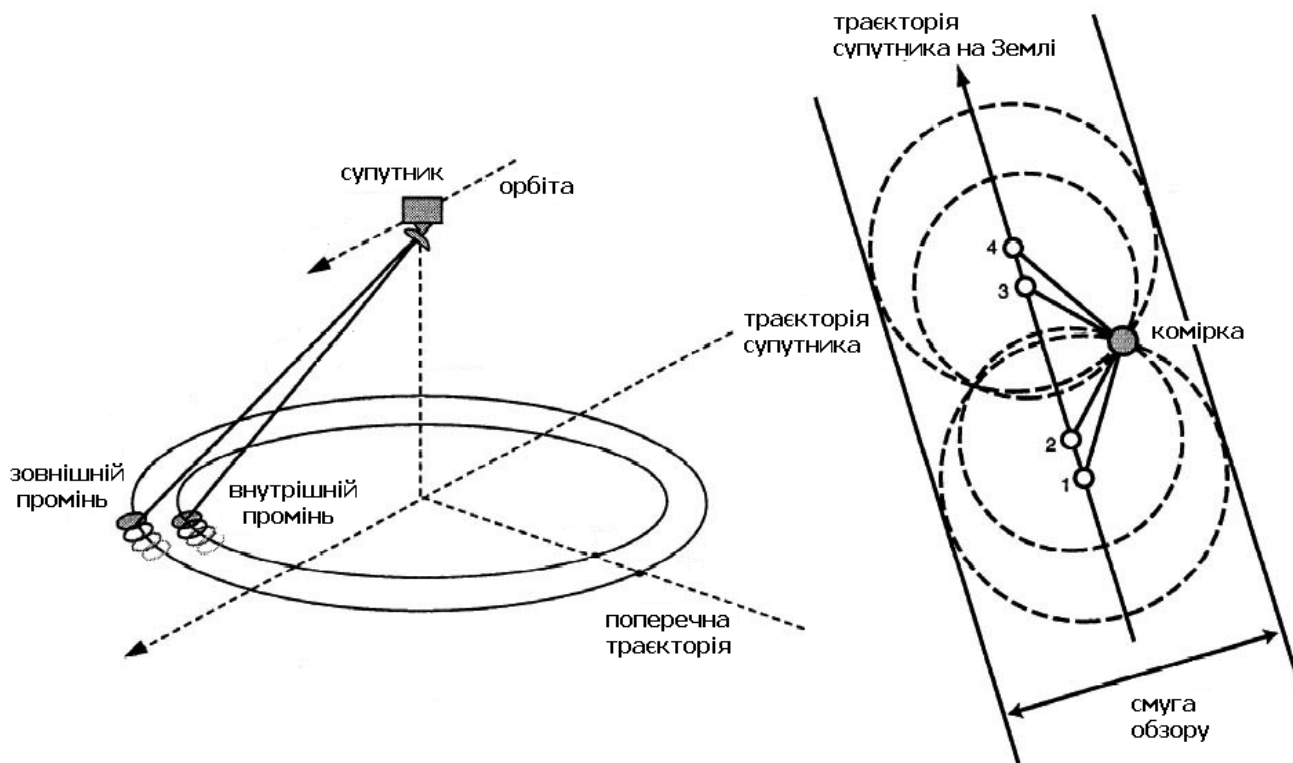


Рисунок 3.2 Принцип роботи скатерометра

3.5 Опис та різновиди радіометричних пристроїв

Радіометр призначений для вимірювання антенної температури при високому рівні завад. Основною характеристикою радіометру є його флуктуаційна чутливість – мінімально спостережуваний приріст антенної температури, при якому середнє значення вихідного сигналу рівне дійсному значенню його флуктуацій.

Для забезпечення високої чутливості розроблено декілька схем побудови приймача. Основними є наступні схеми радіометрів: компенсаційна, модуляційна, адитивно-шумова та кореляційна.

Стабільність роботи радіометра визначається стабільністю коефіцієнта шуму, смуги пропускання приймаючого пристрою та коефіцієнта підсилення. Перші два параметри змінюються повільно і їх можна скорегувати при обробці результатів вимірювання, а зміну коефіцієнта підсилення не вдається виправити простим способом.

Найпростішим типом радіометра є компенсаційний радіометр, функціональна схема якого зображена на рис. 3.3.

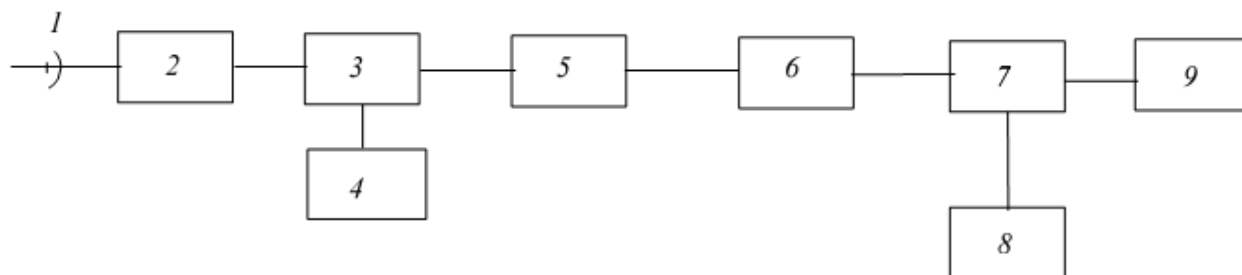


Рисунок 3.3 Спрощена функціональна схема компенсаційного радіометра:

- 1 – антена;*
- 2 – підсилювач високої частоти;*
- 3 – змішувач;*
- 4 – гетеродин;*
- 5 – підсилювач проміжної частоти;*
- 6 – інтегратор;*
- 7 – вираховуючий пристрій;*
- 8 – джерело опорного сигналу;*
- 9 – реєстратор*

Принципова схема даного радіометра аналогічна до схеми супергетеродинного приймача. Для компенсації постійної складової вихідного сигналу, яка зумовлена шумами приймача, в схему вводиться різницевий пристрій і джерело компенсуючого сигналу. Перевагами компенсаційної схеми є простота схеми та високий коефіцієнт використання енергії, яка приймається антеною. Це дозволяє отримати флуктуаційну чутливість, більшу ніж в інших схемах. Проте через некомпенсовані великі флуктуації коефіцієнта підсилення даний тип приймача неможливо реалізувати на практиці.

Одним із можливих шляхів подолання цієї проблеми є отримання компенсуючого струму за допомогою пропущеного через весь тракт радіометра пілот-сигналу. Так отримується схема із пілот-сигналом. Недоліком при реалізації цієї схеми є необхідність наявності стабільного джерела пілот-сигналу. При використанні монохроматичного джерела, пілот-сигнал займає невелику робочу смугу частот, і в цьому випадку він показує інформацію про зміни не у всьому діапазоні частот, а лише в частині. Для збільшення смуги використовується шумоподібний пілот-сигнал, а селекція сигналу проводиться у часі.

Для здійснення комутації у часі перед підсилювачем високої частоти встановлюється модулятор, який по чергову перемикає вхід на антену та узгоджене навантаження. Така схема побудови радіометра називається модуляційною (рис. 3.4).

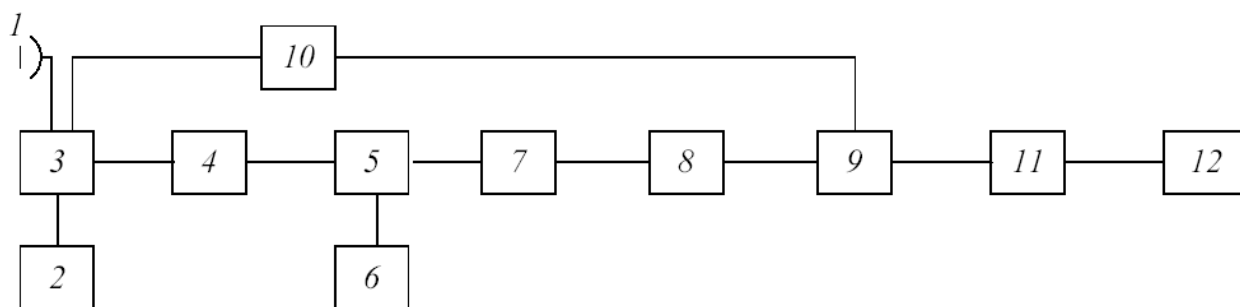


Рисунок 3.4 Спрощена функціональна схема модуляційного радіометра:

- 1 – антена;*
- 2 – узгоджене навантаження;*
- 3 – модулятор;*
- 4 – підсилювач високої частоти;*
- 5 – змішувач;*
- 6 – гетеродин;*
- 7 – підсилювач проміжної частоти;*
- 8 – квадратурний детектор;*
- 9 – синхронний детектор;*
- 10 – синхронізатор;*
- 11 – інтегратор;*
- 12 – реєстратор*

Унаслідок переключень входу приймача підсилювальна напруга модулюється із низькою частотою. Глибина модуляції залежить від різниці приймаючого та еталонного сигналу. Фільтр у тракті після детектування виділяє корисний сигнал із частотною модуляцією. Оскільки фаза модуляції відома, низькочастотний детектор роблять синхронним. Опорна напруга детектора формується синхронізатором, який керує роботою модулятора. На виході детектора створюється напруга пропорційна різниці температур антени та еталону. У ролі інтегратора використовується фільтр низьких частот, який визначає смугу пропускання. Частота переключання модулятора вибирається достатньо високою, щоб за один період переключення коефіцієнт підсилення не зміг сильно змінитися.

Недоліком модуляційного типу є в два рази нижча чутливість перед компенсаційним радіометром, оскільки сигнал антени надходить на вхід приймача тільки на протязі півперіоду модуляції.

Якщо температура антени рівна температурі узгодженого навантаження, то такий приймач називається збалансованим і для нього чутливість визначається лише шумами системи. Балансування може здійснюватись шляхом періодичної зміни підсилення синхронно із роботою модулятора або шляхом зрівняння температур узгодженого навантаження та антени. У цьому випадку в ролі навантаження може бути використаний регульований генератор шуму. Модуляція вхідного сигналу дозволяє зберігати його низькочастотну складову і після детектування. Глибина

модуляції цієї складової пропорційна різниці температур антени і узгодженого навантаження. Частота низькочастотної складової рівна частоті модуляції, що дозволяє використовувати до синхронного детектора вузькосмуговий підсилювач низької частоти, налаштований на частоту модуляції. Напруга на виході цього детектора пропорційна різниці температур антени та узгодженого навантаження.

Схема, в якій для збільшення чутливості на вхід подається сигнал від еталонного джерела шуму, називається адитивно-шумовою (рис. 3.5).

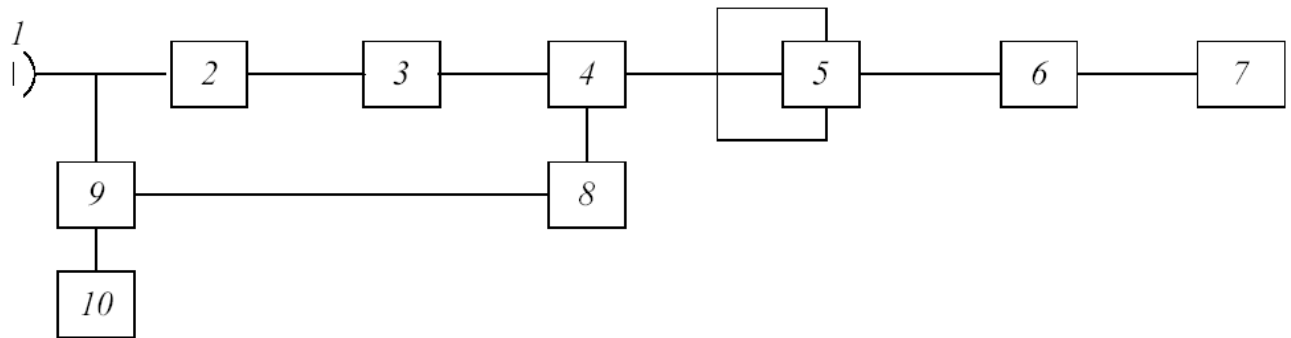


Рисунок 3.5 Спрощена функціональна схема адитивно-шумового радіометра:

- 1 – антена;*
- 2 – високочастотна частина;*
- 3 – підсилювач проміжної частоти та квадратурний детектор;*
- 4 – демодулятор;*
- 5 – вимірювач відношення;*
- 6 – інтегратор;*
- 7 – реєстратор;*
- 8 – синхронізатор;*
- 9 – модулятор;*
- 10 – еталонне джерело шуму*

У даній схемі, модулятор періодично переключаючись, додає до антенної температури (T_a) сигнал (T_e).

Компенсувати частини власних шумів радіометра можливо також на основі того, що сигнал антени та власні шуми приймача некорельовані. Радіометр, який використовує цей принцип називається кореляційним (рис. 3.6). Для такої компенсації необхідно мати дві однакові високочастотні частини, включені таким чином, щоб постійні складові струмів, зумовлені корисним сигналом, додавалися, а складові струмів, які виникають за рахунок власних шумів – віднімалися. Вихідний пристрій вимірює ступінь некогерентності сигналів на виходах каналів.

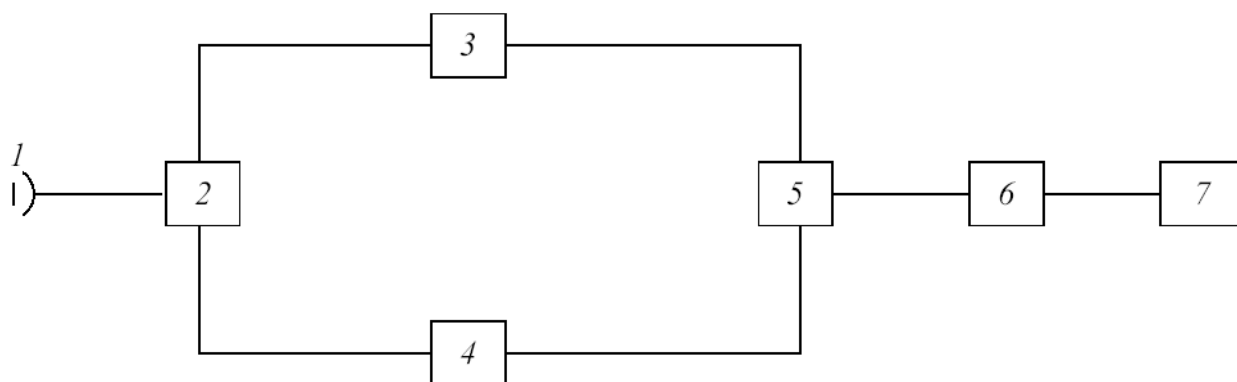


Рисунок 3.6 Спрощена функціональна схема кореляційного радіометра:

- 1 – антена;*
- 2 – високочастотна частина;*
- 3 – підсилювач проміжної частоти та квадратурний детектор;*
- 4 – демодулятор;*
- 5 – вимірювач відношення;*
- 6 – інтегратор;*
- 7 – реєстратор;*
- 8 – синхронізатор;*
- 9 – модулятор;*
- 10 – еталонне джерело шуму*

3.6 Опис спектрометра

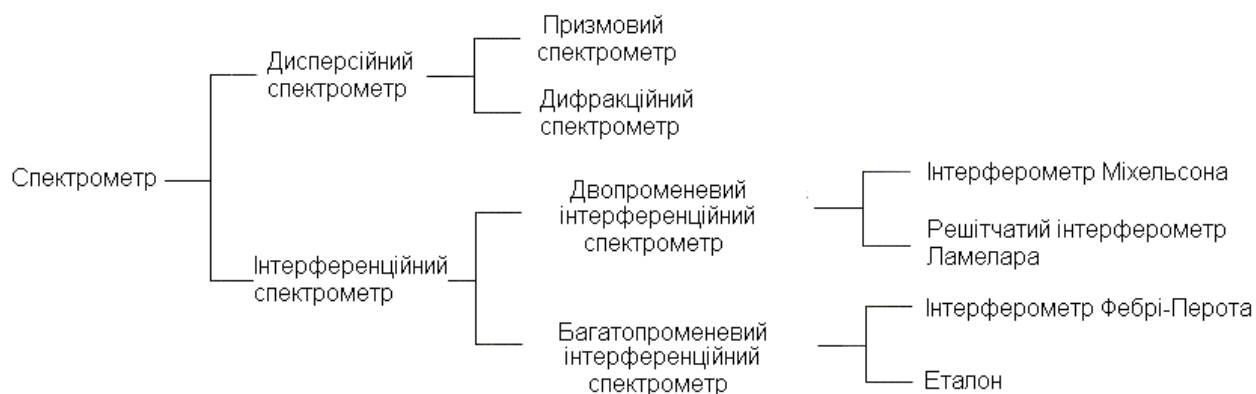


Рисунок 3.7 Різновиди спектрометрів

Спектрометр являє собою регулюючий монохроматор – пристрій, який розділяє поліхроматичне випромінювання на окремі спектральні компоненти. Спектрометри відрізняються між собою у залежності від принципу роботи та використовуваних дисперсійних елементів (рис. 3.7). На рис. 3.8 зображено функціональну схему спектрометра.

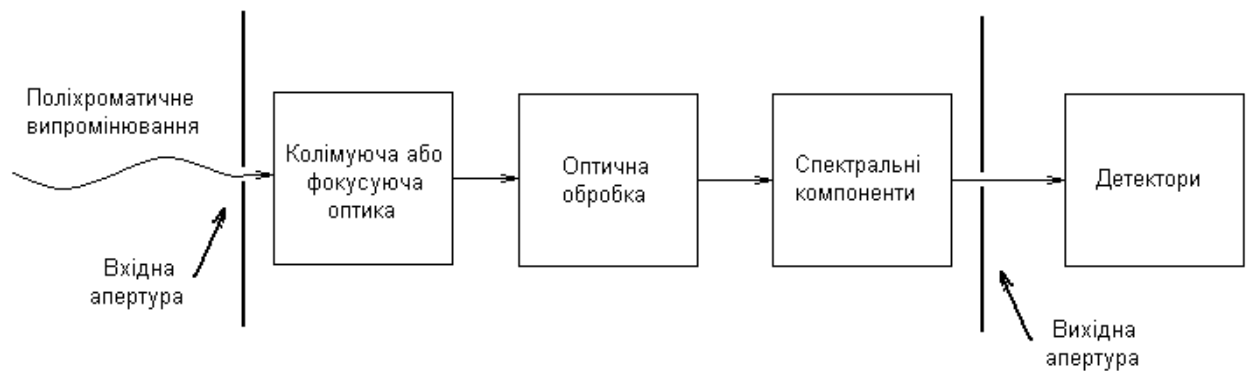


Рисунок 3.8 Функціональна схема спектрометра

Випромінювання від джерела поліхроматичного випромінювання попадає у вхідну апертуру. За допомогою апертури можна регулювати інтенсивність вхідного випромінювання та поле зору системи, в яку спектрометр може входити як складова частина. Далі випромінювання входить у систему фокусуючих або коліматорних об'єктів (відбиваючих, заломлюючих або комбінованих), які призначені для фокусування випромінювання. Дана система об'єктів визначає швидкодію оптичної системи. У деяких пристроях випромінювання проходить через систему оптичної обробки (оптичний переривач), де відбувається формування оптичного сигналу. Після цього оптичний сигнал потрапляє в диспергуючу частину приладу. Її характеристика пропускання є функцією довжини хвилі від падаючого випромінювання. А саме, оптичний сигнал розділяється на спектральні складові. У ролі диспергуючих елементів найчастіше використовуються дифракційна решітка або диспергуюча призма.

Пройшовши вихідну апертуру, випромінювання попадає на один або декілька детекторів, які перетворюють його в електричний сигнал, підсилюється, проходить обробку і реєструється. Детектори випромінювання, які зазвичай використовуються у дистанційному зондуванні поділяються на два широкі класи: фотонні та теплові.

Тепловий детектор змінює свою температуру у відповідь на падаюче випромінювання і в більшості випадків його електричний опір є функцією температури. Перевагою даного типу детекторів є те, що їх відклик не залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання (рис. 3.9), тобто вони однаково реагують на випромінювання всіх довжин хвиль. Проте тепловий детектор не здатний на швидкий відклик швидкозмінному вхідному випромінюванню і, як правило, менш чутливий, ніж фотонний детектор.

Фотонні детектори характеризуються швидким відкликом, і тому використовуються частіше за інші детектори. У детекторів даного типу вхідне випромінювання збуджує носії електричних зарядів, заставляючи їх переходити із одного енергетичного рівня кристалічної решітки детектора

на інший. Для того, щоб електрон перейшов на вищий рівень, йому необхідно надати енергії фотона

$$E_{\phi} \geq h \cdot \nu, \quad (3.1)$$

де h – постійна Планка,

ν - частота випромінювання.

Відгук фотонного детектора пропорційний числу носіїв заряду в зоні провідності, тобто відгук пропорційний числу переходів електронів, які викликані падаючими фотонами. Чутливість детектора – міра електричного відклику на Вт вхідного випромінювання.

Оскільки фотонний детектор реагує тільки тоді, коли

$$h \cdot \nu \geq E_{\phi} \text{ і } \nu = c / \lambda,$$

де c – швидкість світла, (км/год.),

то відклик детектора є завжди, коли:

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_{\phi}. \quad (3.2)$$

Гранична довжина хвилі детектора визначається з формули:

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_{\phi}} = \lambda_{пор}. \quad (3.3)$$

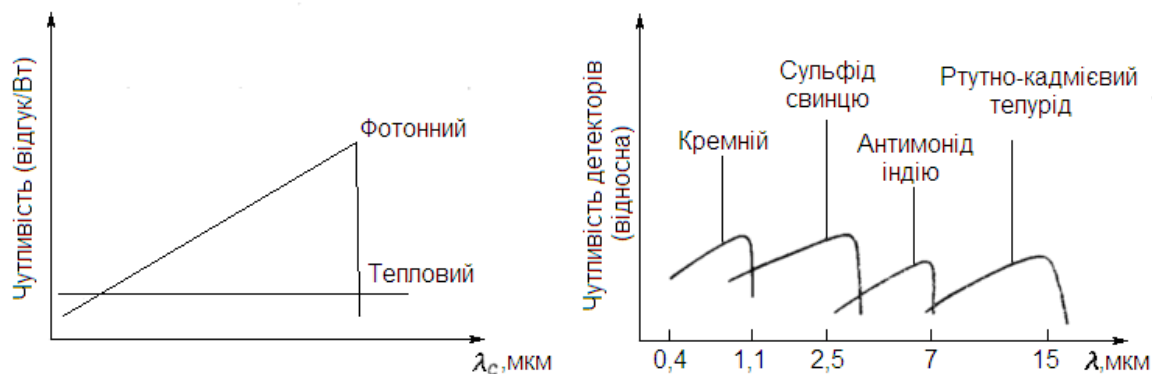


Рисунок 3.9 Характеристики детекторів

Щоб охопити широку смугу довжин хвиль, зазвичай необхідно декілька різних фотонних детекторів, оскільки вони не можуть сприймати випромінювання за межами своїх власних порогових довжин хвиль. Крім того, із зменшенням довжини хвилі, чутливість даного фотонного детектора знижується до такої величини, що зазвичай, використовуються фотонні детектори із більш низьким значенням $\lambda_{пор}$.

3.7 Радіолокаційні системи зондування Землі

Для проведення дистанційного зондування у мікрохвильовому діапазоні використовуються радіолокаційні системи бокового огляду (РБО). Вони є модифікацією імпульсних РЛС кругового огляду при розміщенні їх на літаючому апараті. Залежно від принципу дії РБО поділяються на радіолокаційні системи із реальною та синтезованою апертурою.

Радіолокаційні зображення поверхні Землі формуються із величин амплітуд перевідбитих у зворотньому напрямку зондуючих імпульсів РЛС, які є модулем комплексного коефіцієнту зворотнього розсіювання Землі. Кожен відбитий імпульс є рядком дискретного радіолокаційного зображення.

Однією із найважливіших вимог, які висуваються до радіолокаторів є висока роздільна здатність, яка в значній мірі визначає детальність та якість радіолокаційного зображення зондованої місцевості. Висока роздільна здатність по азимуту може бути підвищена завдяки збільшенню горизонтального розкриву антени або зменшенню довжини хвилі. Значно підвищити роздільну здатність за азимутом можна, формуючи штучний розкрити антени в результаті поступового руху літаючого апарату. При цьому послідовні положення реальної антени в просторі можуть розглядатися як елементи деякої синтезованої антенної решітки.



Рисунок 3.10 Процес синтезу антени

На рис. 3.10 точками показані моменти часу, в які літаючий апарат випромінює зондуючі сигнали. Дані точки відповідають диполям синтезованої антени, кожен з яких має широку діаграму випромінювання. У момент, який відповідає крайньому лівому положенню носія, його антена випромінює імпульсний сигнал, а на самому носії фіксується відбитий сигнал, із врахуванням фазових співвідношень. У момент, коли носій займає нове положення, він починає випромінювати новий зондуючий сигнал і знову фіксує відбиті сигнали. Таким чином випромінюються та фіксуються сигнали для кожного із положень синтезованої антенної решітки. Запам'ятовані сигнали додаються із врахуванням їх фазових співвідношень. У результаті отримаємо такий же ефект, як при одночасному прийомі сигналу всіма вібраторами гостронаправленої антени.

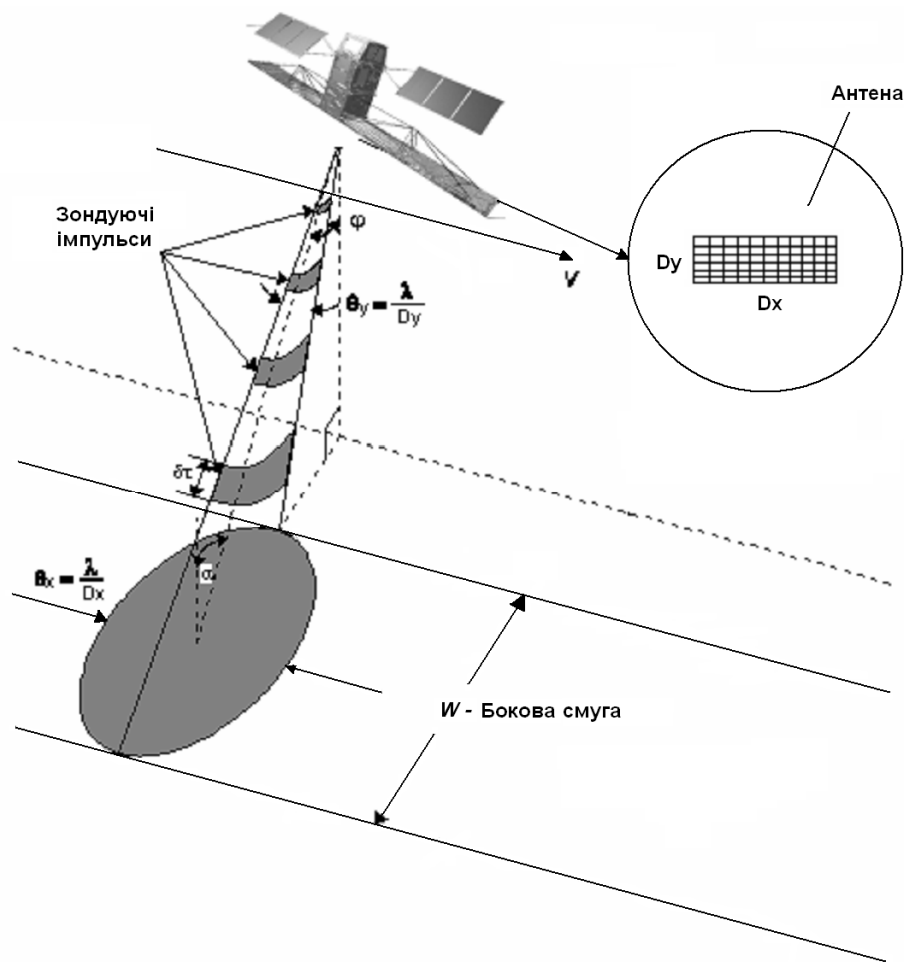


Рисунок 3.11 Принцип роботи радіолокатора бокового огляду

Для здійснення штучного розкриття необхідно виконати додавання сигналів із врахуванням їх фазових співвідношень, тому на борту носія необхідно мати когерентну радіолокаційну станцію. Із-за цього радіолокатори із синтезованою антеною ще називають когерентними радіолокаторами бокового огляду. На рис. 3.11 показано принцип роботи радіолокатора бокового огляду

3.8 Радіовисотомір

Радіовисотомір – бортовий пристрій для визначення висоти літаючого апарату (літака, гелікоптера, штучного супутника) радіотехнічними методами. У художній літературі більше використовується термін “альтиметр”. Радіовисотоміри бувають трьох видів: барометричні, супутникові та радіотехнічні. Для ДЗЗ використовуються в основному радіотехнічні висотоміри. За типом використовуваного випромінювання та метода його обробки радіовисотоміри поділяються на дві групи:

1) радіовисотоміри із частотною модуляцією, які характеризуються діапазоном вимірювань висот до 1500 м і використовуються в основному при заході літака на посадкову смугу;

2) радіовисотоміри із імпульсною модуляцією, які призначені для вимірювання великих висот, що використовуються при дистанційному зондуванні.

Принцип роботи радіолокаційного висотоміра полягає у вимірюванні часу проходження радіосигналу від передаючої антени до зондованої поверхні та у зворотному напрямку до приймаючої антени:

$$h = \frac{t \cdot c}{2}, \quad (3.4)$$

де, t – час проходження радіосигналу у прямому та зворотному напрямках;

h – вимірювана висота;

c – швидкість поширення радіохвилі (швидкість світла).

Радіолокаційні висотоміри використовуються для вимірювання висотного профілю земної поверхні із точністю (2-8) см, також можуть бути використані для отримання інформації про морський геоїд, гравітаційні аномалії, висоту хвиль, швидкість вітру, рівні приливів, швидкості поверхневих течій, льодовий покрив та неоднорідності його поверхні.

3.9 Принципи функціонування лазерної локації

Основним приладом лазерної локації, який використовується для отримання зображення поверхні Землі є лазерний локатор (лідар) [4]. Активним елементом лідара є напівпровідниковий лазер із робочою довжиною хвилі в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру. Лазер випромінює короткі імпульси, напрямок поширення яких регулюється оптичною системою, а точніше її скануючим елементом. Режим сканування вибирається таким чином, щоб покрити деяку наперед задану смугу сканування.

Зондуючі імпульси поширюються прямолінійною траєкторією від джерела випромінювання у сторону сцени. Якщо в процесі проходження через атмосферу зондуючий імпульс зіштовхується із перешкодою (поверхнею Землі або наземним об'єктом), то в місці зіткнення лазерний промінь перевідбивається. Характер перевідбивання у більшості випадків є дифузійним, в результаті чого частина перевідбитої енергії імпульсу, повертається в сторону локатора, де і реєструється у приймачі випромінювання, який входить до складу оптично-електронного блоку локатора. Миттєвості часу, які відповідають випромінюванню зондуючого імпульсу, а також реєстрації відбитого імпульсу приймачем реєструються із високою точністю за допомогою пристрою Time Interval Meter (TIM). Даний прилад також входить до складу оптично-електронного блоку. Це дозволяє визначити часовий інтервал, який витрачається зондуючим імпульсом на проходження від джерела до об'єкту зондування і в зворотному напрямі, а це в свою чергу дасть змогу визначити відстань до об'єкта. У кожному сеансі вимірювання можуть реєструватися відбивання більш ніж від одного

об'єкту. Лазерний локатор багато в чому реалізує схему скануючого лазерного дальноміра.

Усі первинні вимірювання координат виконуються лазерним локатором у геоцентричній системі координат $oXYZ$. Траєкторія руху носія визначається за допомогою встановленого на борту навігаційного приймача (GPS, ГЛОНАСС), а його орієнтація в системі координат $oXYZ$, за допомогою використання інерційної системи Inertial Measurement Unit (IMU).

Основними функціональними компонентами схеми, яка реалізує лазерно-локаційний метод вимірювання є:

1) скануючий блок, у функції якого входять генерація лазерних імпульсів, прийом відбитого сигналу та визначення нахиленої дальності до точки відбивання. Крім того, до функцій сканерного блоку відноситься керування розгорткою;

2) бортовий навігаційний комплекс (БНК), робота якого ґрунтується на взаємодії в реальному часі GPS приймача та інерційної системи IMU. Основною функцією бортового навігаційного комплексу є забезпечення кожного первинного лазерно-локаційного вимірювання повним набором елементів зовнішнього орієнтування, які дають можливість, використовуючи виміряне значення нахиленої дальності, перейти до геодезичних координат наземної точки, у якій відбулось відбиття зондуючого променя;

3) мережа наземних базових навігаційних станцій (GPS, ГЛОНАСС), які постачають дані для проведення диференційної корекції траєкторних даних бортового навігаційного приймача GPS. Кожна GPS базова станція забезпечена реальними WGS-84 координатами. У визначених випадках, при невеликих розмірах території зйомки, може використовуватись одна базова GPS станція.

При цьому скануючий блок і бортовий навігаційний комплекс відносяться до супутникового сегменту схеми, а мережа наземних базових GPS станцій - до наземного сегменту.

Функціональна схема бортової частини лазерного локатора зображена на рис. 3.12.

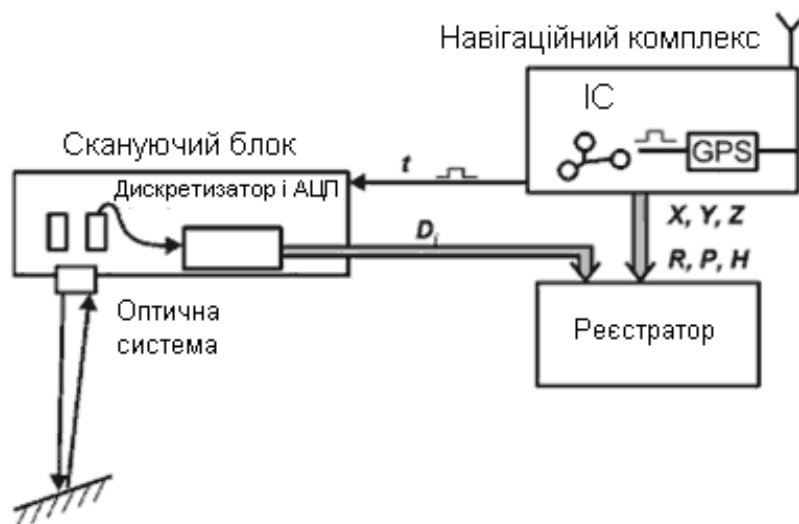


Рисунок 3.12 Функціональна схема бортової частини лазерного локатора

Бортовий навігаційний комплекс (БНК) виробляє послідовність навігаційних даних по траєкторії руху носія X, Y, Z та кутах орієнтації H, R, P у системі координат WGS-84. Ці дані, як правило, генеруються із частотою (50-200) Гц. Навігаційні дані так, як і дані дальноміра, які виробляються сканерним блоком, через SCSI або інтерфейс Ethernet поступають на бортовий магнітний реєстратор. Тут необхідно відмітити дві особливості режиму роботи БНК:

1) вказані на схемі навігаційні дані X, Y, Z і R, P, H є кінцевим результатом навігаційного рішення, отриманого в реальному часі. Крім них, реєструється багато іншої допоміжної інформації, яка відображає внутрішню роботу навігаційного комплексу. У результаті наземної обробки ця інформація використовується для отримання уточненого навігаційного рішення;

2) часто GPS приймач, який входить у склад навігаційного комплексу, виконує самостійну реєстрацію своїх даних на власний носій.

Іншою функцією навігаційного комплексу є часова синхронізація роботи всіх компонентів локатора. Синхронізація виконується за рахунок формування БНК імпульсу синхронізації, який подається на всі внутрішні пристрої локатора. Для цієї мети використовується стандартний PPS імпульс, який виробляється GPS приймачем і є джерелом бортового GPS часу. Важливо, що секундні імпульси виробляються GPS приймачем із достатньою точністю в реальному часі, тобто без диференційної корекції. Описаний режим синхронізації має більше значення для всього бортового інформаційно-вимірювального комплексу в цілому. Він дозволяє відмовитись від виконання апаратної синхронізації всіх джерел інформації, як це робилось раніше при створенні літаючих лабораторій. Замість цього будь-яка порція даних постачається часовою міткою, яка узгоджена із джерелом абсолютного GPS часу. У результаті будь-яка порція даних, яка

записується на реєстратор, виявляється повністю визначеною у часовому відношенні, а фактична синхронізація потоків даних здійснюється в результаті наземної вторинної обробки. Ця обставина має два головних практичних наслідки:

- 1) значно розвантажується електронний блок локатора, а точніше, та його частина, яка відповідає за формування єдиного кадру системи;

- 2) можливості бортового інформаційно-вимірювального комплексу можуть бути суттєво розширені за рахунок комплектування ЛЛ із іншими (зовнішніми по відношенню до локатора) джерелами даних. При цьому немає необхідності апаратно включати новий потік даних в кадр локатора, а достатньо синхронізувати його із абсолютним GPS часом. Прикладом подібного підходу є сумісне використання ЛЛ і цифрових аерофотоапаратів. Іншим можливим практично значимим прикладом може бути комплектування із тепловізійною або спектрозональною аерознімальною апаратурою.

Скануючий блок використовує концепцію прийомопередавача, яка характерна для багатьох оптико-електронних активних систем, які використовуються в авіаційному дистанційному зондуванні. У структурі скануючого блоку можна виділити наступні компоненти:

- 1) випромінювач;
- 2) приймач;
- 3) оптична система;
- 4) дискретизатор і аналого-цифровий перетворювач (АЦП), які сумісно виконують функції модуля вимірювання дальності.

Робоча довжина хвилі лазерного випромінювання складає 1047 нм, що відповідає ближньому інфрачервоному діапазону. У результаті цього:

- 1) лазерний локатор надзвичайно чутливий до метеорологічного стану атмосфери і наявності механічних домішок, які значно послаблюють сигнал, а в деяких випадках роблять зйомку неможливою;

- 2) лазерне випромінювання на цій довжині хвилі є найбільш небезпечним для зору, оскільки може викликати опіки сітківки. У силу цього вводяться обмеження на мінімальну висоту польоту, яка в залежності від моделі лідара при максимальній потужності випромінювання становить (300-500) м. Ця обставина є додатковим обмеженням при плануванні аерознімальних робіт.

Принципова схема оптичної системи показана на рис. 3.13.

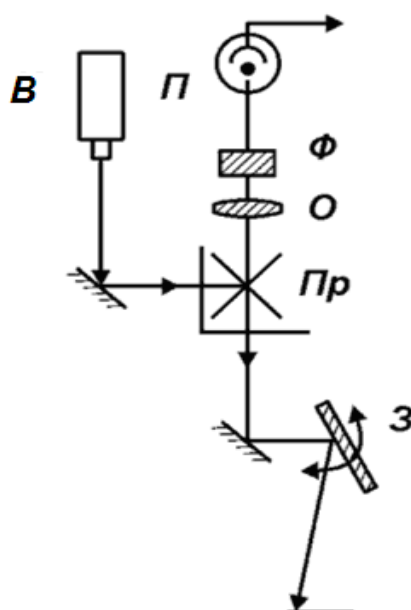


Рисунок 3.13 Принципова схема оптичної системи лідару

Лазерний промінь від випромінювача В через призму П і два допоміжних дзеркала попадає на скануюче дзеркало З. Скануюче дзеркало З здійснює коливальні рухи. Скануюче дзеркало забезпечує зигзагоподібну розгортку в напрямку, перпендикулярному напрямку польоту. Повздовжня розгортка забезпечується за рахунок руху носія. Призма забезпечує напрям відбитого потоку на збираючу лінзу О, яка виконує функції об'єктиву. Перед тим, як потрапити на приймач П, потік проходить через інтерференційний фільтр Ф. Фільтр пропускає на приймач тільки випромінювання у вузькому діапазоні довжин хвиль, із центром в робочій довжині хвилі випромінювача - 1047 нм.

Основні схеми виконання розгортки, які використовуються в сучасних лазерних локаторах, зображені на рис. 3.14.

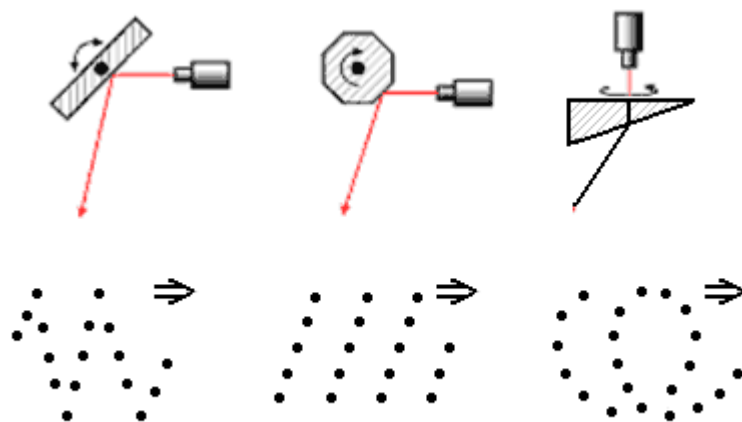


Рисунок 3.14 Основні схеми організації розгортки в сучасних лідарах

У якості основного оптичного елемента розгортки використовуються:

- 1) коливальне дзеркало;
- 2) повертаюча призма;
- 3) оптичний клин.

Розглянемо переваги та недоліки вказаних методів організації розгортки. Для цього виділимо декілька критеріїв, за якими будемо оцінювати ці переваги та недоліки. А саме:

- 1) простота технічної реалізації;
- 2) можливість налаштування (програмування) режимів сканування;
- 3) забезпечення максимальної рівномірності розподілу лазерних точок по поверхні сцени;
- 4) інші.

Що стосується простоти технічної реалізації, то всі розглянуті схеми сканування не представляють ніяких проблем по даній позиції. Всюди використовується єдиний рухомий оптичний елемент, який у першому випадку здійснює коливання, а в другому та третьому повертається із постійною кутовою швидкістю. Ця обставина полегшує юстування і, в значній мірі, сприяє стабільності та надійності роботи оптичної системи.

Найбільші можливості стосовно гнучкості та можливості програмування режимів сканування забезпечує схема із коливальним дзеркалом. При використанні такої схеми є можливість регулювати всі три головних параметри, які характеризують повітряну лазерно-локаційну зйомку:

- ширина смуги захвату (S), регулюється значенням амплітуди коливань,
- частота сканування (f), тобто кількість ліній сканування в секунду (регулюється значенням частоти коливань),
- густина сканування (d), тобто кількість лазерних точок на одиницю поверхні однозначно визначається за даними S і f . Схеми розгортки із використанням призми і оптичного клину без використання додаткових елементів регулюють ширину смуги захвату, що на практиці є суттєвим недоліком.

Додатковою перевагою схеми розгортки із використанням коливаючого дзеркала є можливість динамічного керування параметрами розгортки в процесі виконання аерознімальних робіт. Завдяки цій можливості вдається, наприклад в лідарах типу ALTM, реалізувати режим компенсації бокового крену, який гарантує покриття заданої смуги зйомки, що в значній степені полегшує пілотування.

Слід також відзначити, що у випадку використання коливального дзеркала за рахунок зміни закону коливань можна отримати різні траєкторії сканування, як, наприклад, синусоїдну або пилкоподібну.

Найбільша рівномірність розподілу лазерних точок по поверхні сцени забезпечується при використанні призми в ролі скануючого елемента. У цьому випадку скановане зображення складається із набору прямих ліній,

паралельних одна одній. Легко показати, що при заданій швидкості руху носія (V), висоті зйомки (H), ширині смуги захвату (S) можна підібрати таке значення частоти сканування (f), що буде забезпечено рівність поздовжньої та поперечної відстаней між сусідніми лазерними точками.

Розгортка із використанням оптичного клину також не відрізняється особливою гнучкістю. Крім того, при використанні цього методу спостерігається найбільша нерівномірність розподілу лазерних точок, причому мінімальна густина приходить на середину смуги захвату, тобто на ту область, яка і представляє найбільший інтерес. Однак сканування із використанням оптичного клину має одну важливу перевагу. При реалізації цього методу кожна ділянка смуги зйомки сканується двічі - при наближенні і при віддаленні від цієї ділянки. Така особливість,

по-перше, дозволяє отримувати відгуки від вертикально розміщених об'єктів, таких, як стіни будівлі, стволи дерев або опори ліній електропередач (ЛЕП),

по-друге, створює виключно позитивні умови для самокалібрування лідару.

Можливість отримання відгуків від вертикально розміщених об'єктів відбувається і при реалізації інших схем сканування. Так, у лідарах типу ALTM, які використовують метод коливального дзеркала, передбачена можливість встановлення сканерного блоку при нахилі положення до 30° від надиру. Таке положення використовується найбільш часто при фотографуванні ЛЕП.

4 ОГЛЯД СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

4.1 Особливості побудови наземних комплексів керування штучними супутниками Землі

Структурні схеми наземних комплексів керування (НKK) супутниками поділяються за способом обміну керуючою інформацією між НKK та бортовим комплексом керування супутника на:

- схеми із безпосереднім керуванням НKK супутником;
- схеми із використанням супутників-ретрансляторів.

У НKK із безпосереднім керуванням супутниками можуть бути реалізовані дві схеми: однопунктна та багатопунктна (територіальна), які відрізняються між собою в основному за кількістю та розміщенням наземних станцій командно-вимірювальних систем, а також необхідними затратами на створення та експлуатацію НKK.

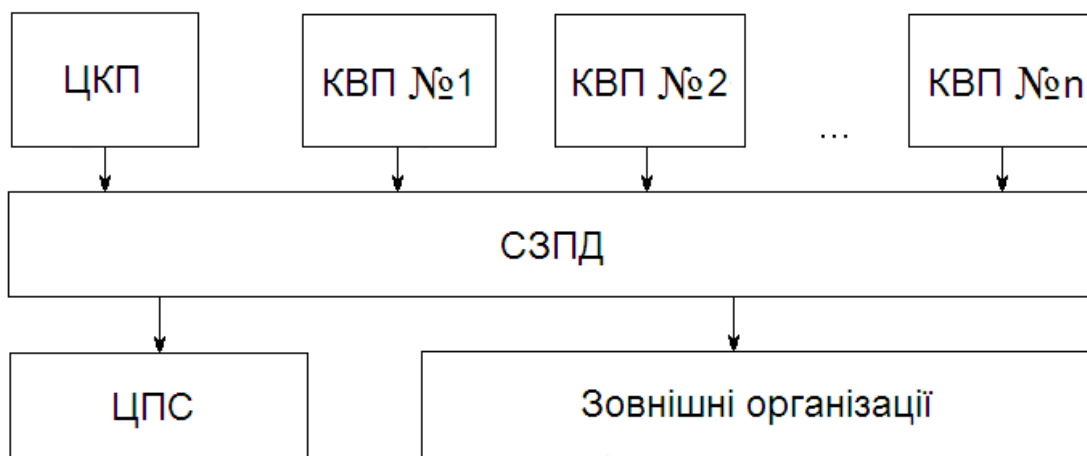


Рисунок 4.1 Структурна схема багатопунктного (територіального) НKK

Багатопунктна схема НKK (рис. 4.1) передбачає використання в своєму складі декількох територіально рознесених командно-вимірювальних пунктів (КВП), які оснащені наземними станціями. Керування штучним супутником відбувається централізовано із центру керування польотом (ЦКП). Обмін інформацією між КВП та ЦКП здійснюється автоматизованими мережами систем зв'язку та передачі даних (СЗПД), в яких можуть бути задіяні як наземні так і супутникові канали зв'язку. До цієї інформації належать:

- 1) робочі та тимчасові програми;
- 2) інформація оперативного контролю;
- 3) телесигналізаційна інформація;
- 4) телеметрична інформація;
- 5) вимірювання поточних навігаційних параметрів.

Багатопунктний НКК забезпечує високу надійність керування штучними супутниками, високу точність визначення параметрів орбіти при великій частоті передачі на борт супутника керуючої (телеметричної) інформації.

Однопунктна схема керування супутником (рис. 4.2) передбачає використання одного командно-вимірювального пункту із наземної станції (НС КВП). У такій схемі територіально суміщена наземна станція командно-вимірювального пункту, центр керування польотом та центр планування спостережень (ЦПС).

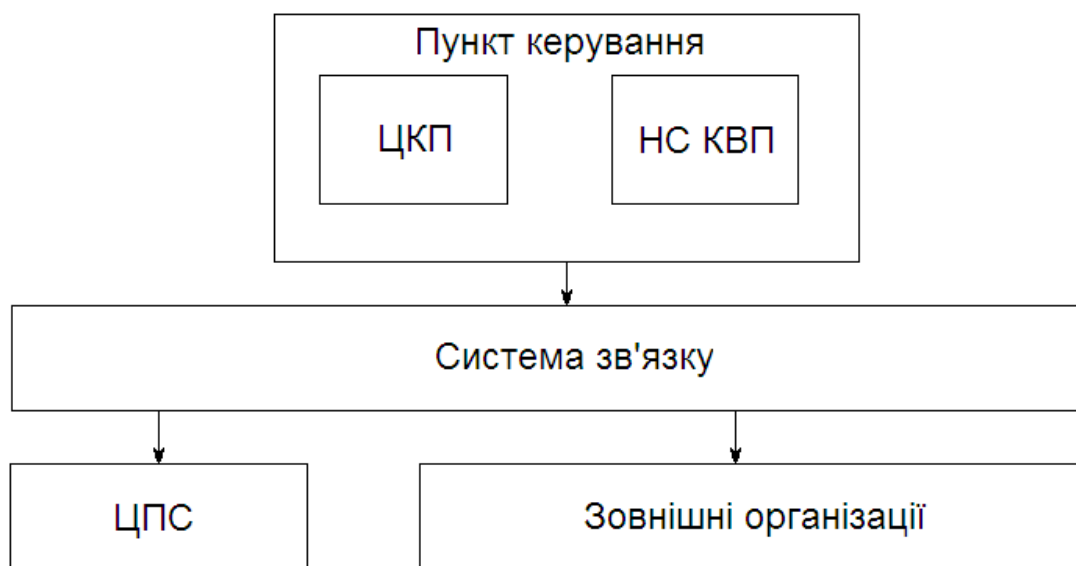


Рисунок 4.2 Структурна схема однопунктного НКК

Взаємодія між НС КВП, ЦКП та ЦПС реалізується мережами машинного (комп'ютерного) обміну або навіть на рівні взаємодії програм в одному інформаційно-обчислювальному комплексі.

Схеми ретрансляційного керування штучними супутниками базується на використанні космічних радіоліній із ретрансляцією інформації через супутники-ретранслятори, які розміщені на геостаціонарній або низькій орбітах. Дана схема НКК через ретранслятори на геостаціонарній орбіті характеризується такими перевагами в порівнянні із багатопунктною схемою:

- глобальність;
- можливість оперативного втручання у процес керування супутником;
- простота реалізації на Землі централізованого керування супутником;
- зняття обмежень на тривалість сеансів зв'язку із супутником;
- можливість використання стійкої та недорогої мережі наземних ліній зв'язку.

Недоліками даної схеми є:

- необхідність забезпечення високого потенціалу лінії;
- незахищеність від радіопротидії на значній території Землі.

4.2 Космічні системи, які оснащені оптичною апаратурою із високою просторовою роздільною здатністю

У космічних системах даного типу використовуються такі пристрої: телевізійні системи, оптичні камери із механічним скануванням, оптико-електронні камери на ПЗС. Особливостями систем даного типу є те, що отримання якісних космічних фотографій можливе лише за умови достатньої освітленості земної поверхні в зоні проведення фотографування (за умови безхмарної погоди), (65-70)% вартості супутника припадає на його цільову апаратуру.

Дані, отримані за допомогою цих систем, використовуються для картографії, виміру протяжності та класифікації сільськогосподарських культур, контролю ерозії ґрунтів у береговій зоні та ін.

Найбільшими системами із оптичною апаратурою є супутники: LANDSAT, SPOT, IRS, ADEOS, MECB, CBERS, “Ресурс-О” [1].

Система LANDSAT. Орбітальний сегмент системи становить (1- 2) ШСЗ, причому другий супутник зазвичай, представляє апарат із перевищенням розрахункового 5-ти річного терміну активного існування або апарат із пониженою роботоздатністю. На даний час на орбіті перебувають супутники даної системи Landsat-5 та Landsat-7.

Дані, отримані із супутників системи LANDSAT, використовуються в таких областях: географії, океанографії, гідрології, геології, вивчення природних ресурсів окремих регіонів, країн та Землі в цілому, картографії, контролю навколишнього середовища.

Апаратурою дистанційного зондування на супутниках LANDSAT, яка використовується в даний час є: багатоспектральна камера ETM+, багатоспектральний сканер MSS, тематичний картограф ТМ. Передача інформації із супутника Landsat-5 відбувається у Х-діапазоні передавачем потужністю 44 Вт радіолінією із центральною частотою 8212,5 МГц. Передача в S-діапазоні здійснюється радіолінією із такими параметрами:

- частота 2265,5 МГц;
- потужність бортового передавача 10 Вт;
- поляризація випромінювання права кругова;
- модуляція КІМ-ЧМ;
- девіація частоти $\pm 5,6$ МГц;
- шифрування в каналі NRZ-L;
- швидкість маніпуляції 15,0626 Мбіт/с.

До складу бортового комплексу прийому інформації із супутників LANDSAT входять:

- 1) основний рефлектор антенної системи;
- 2) обладнання кондиціонування повітря;
- 3) радіоприймальні пристрої S-діапазону;
- 4) демодулятор сигналів із незбалансованою квадратурною фазовою модуляцією;
- 5) система наведення антени за кутовими координатами;

- 6) демодулятор сигналів супутників Spot;
- 7) тактовий синхронізатор сигналів *S*-діапазону;
- 8) блок комутації високочастотних сигналів;
- 9) блок комутації вихідних цифрових сигналів;
- 10) панель керування блоками живлення;
- 11) генератор часового коду;
- 12) апаратура запису, друку та обробки даних із супутників.

Система SPOT. Основними задачами французької системи вивчення природних ресурсів Землі є: картографування, землекористування, сільське та лісове господарство, планування розбудови міст, створення цифрових карт місцевості та контроль за змінами стану навколишнього середовища.

Розробка та виготовлення космічних апаратів системи SPOT здійснюється на основі еволюційної модернізації уніфікованого службового модуля ШСЗ Spot.

Супутники SPOT рухаються круговою сонячно-синхронною орбітою. Орбіта супутника SPOT характеризується такими параметрами:

- висота — 822 км;
- нахил — 98,7°;
- кількість обертів у день — $14 + 5/26$;
- період — 101 хв.;
- зміщення між послідовними наземними траєкторіями — 2823 км;
- тривалість циклу — 26 діб;
- число орбітальних обертів за цикл — 369.

Сумарна швидкість передачі даних із трьох камер HRG, встановлених на супутнику Spot-5 перевищує 50 Мбіт/с. Передача інформації здійснюється в діапазоні (8025-8400) МГц. На всіх супутниках системи Spot встановлено радіомаяк із частотою випромінювання 8307 МГц та шириною спектру 100 кГц, призначений для полегшення наведення приймальної антени земної станції на супутник.

Система GeoEye. До складу системи GeoEye входять супутники IKONOS та GeoEye-1. Супутник IKONOS знаходиться на низькій сонячно-синхронній орбіті, яка забезпечує його проходження над любым районом Землі кожні 1-5 днів (у залежності від широти). IKONOS призначений для отримання цифрового зображення земної поверхні із просторовою роздільною здатністю 1 м у панхроматичному та 4 м у мультиспектральному режимах.

GeoEye-1 має найвищу роздільну здатність з усіх комерційних систем зйомки і створює зображення з роздільною здатністю 0,41 м на піксель у панхроматичному режимі. GeoEye-1, як полярно-орбітальний супутник, спроможний сканувати кожну точку Землі щонайменше один раз у три дні в залежності від потрібного кута зйомки. Супутник здійснює (12-13) обертів щодня на висоті 684 км з орбітальною швидкістю близько 7,5 км/сек. GeoEye-1 доповнює наявну систему IKONOS; він знімає зображення на 40% швидше для панхроматичного і 25% швидше для мультиспектрального діапазонів. Разом IKONOS і GeoEye-1 можуть просканувати майже мільйон квадратних кілометрів щодня.

Система WorldView. До складу даної системи входить супутник WorldView-1, 2 які належать компанії Digital Globe (США).

Супутник WorldView-1 виведений на навколоземну сонячно-синхронну орбіту висотою 496 км, здатний забезпечити щоденне покриття площиною в 750 000 км², із середнім періодом прольоту над однією і тією ж територією в межах 1,7 доби. WorldView-1 оснащений телескопом із апертурою 60 см для зйомки тільки в панхроматичному режимі із просторовою роздільною здатністю до 50 см. Супутник може знімати за різними схемами:

кадрова зйомка,

маршрутна зйомка (вздовж берегових ліній, доріг та інших лінійних об'єктів),

площинна зйомка (зони розміром 60х60 км),

стереозйомка.

Швидкість передачі даних на наземний сегмент становить 800 Мбіт/с.

У 2009 році запущений супутник WorldView-2 на сонячно-синхронну орбіту висотою 770 км, яка забезпечує його проходження над любим регіоном Землі кожні (1-2) доби. WorldView-2 дозволяє отримувати цифрові зображення земної поверхні із просторовою роздільною здатністю 50 см у панхроматичному режимі та 1,8 м у мультиспектральному режимі при скануванні в надир.

Супутник QUICKBIRD. Супутник QUICKBIRD належить американській компанії Digital Globe. Супутник виведений на навколоземну сонячно-синхронну орбіту висотою 450 км, яка забезпечує його проходження над любим районом Землі кожні (1–5) днів (у залежності від широти). Супутник QuickBird призначений для отримання цифрових зображень земної поверхні із просторовою роздільною здатністю 61 см у панхроматичному режимі та 2,44 м у мультиспектральному режимі при скануванні в надир.

4.3 Космічні системи, які оснащені радіолокаційною апаратурою дистанційного зондування Землі

Найбільшими системами із радіолокаційною апаратурою є супутники: ERS, ENVISAT-1, ALOS, JERS-1, RADARSAT, “АЛМАЗ”, “ПРИРОДА” [1]. У цих системах використовуються три основних типи пристроїв: висотоміри, скатерометри та радіолокатори із синтезованою і реальною апертурою.

Складність та вартість розробки радіолокаційних систем космічного базування перевищують відповідні показники для інших пристроїв дистанційного зондування. У результаті космічні платформи, оснащені бортовими радіолокаторами, є найбільш дорогими, габаритними та масивними супутниками серед усіх апаратів ДЗЗ, а цільове призначення супутника визначається можливостями його радіолокаційної системи.

Просторова роздільна здатність радіолокаційної апаратури співставна із роздільною здатністю оптичних пристроїв.

Система ERS. У склад орбітального сегменту системи ERS входить один штучний супутник на круговій сонячно-синхронній орбіті. Супутники ERS-1 і

ERS-2 запуснені на сонячно-синхронну орбіту із середньою висотою 785 км та нахилом $98,5^\circ$. На першому із супутників встановлено 5, а на другому - 6 різних сенсорних апаратів дистанційного зондування, включаючи оптичні ультрафіолетові та інфрачервоні сканери, радарний альтиметр та ін. Однак, враховуючи низьку просторову роздільну здатність більшості перерахованих приладів, найбільший інтерес щодо фотографування поверхні представляє радар бокового огляду із синтезованою апертурою, який виконує зйомку земної поверхні в С-діапазоні довжин хвиль (5,6 см), із вертикальною поляризацією випромінювання (V), у діапазоні знімальних кутів від 20° до 26° .

Супутник ENVISAT. Супутник ENVISAT виведений Європейським космічним агентством (ESA) для продовження досліджень, початих супутниками ERS. Він рухається по сонячно-синхронній орбіті із середньою висотою 790 км, нахилом $98,55^\circ$ та 35-ти добовим циклом повороту, який забезпечує глобальне покриття у проміжку від 1 до 3 днів. Супутник є багатофункціональним, на ньому встановлено 9 різних пристроїв дистанційного зондування, включаючи оптичні сканери, ультрафіолетові та інфрачервоні спектрометри, радарний альтиметр та ін. Однак, враховуючи низьку просторову роздільну здатність з більшості перерахованих приладів, найбільший інтерес становить вдосконалений радар бокового огляду із поверхні в С-діапазоні довжин хвиль (5,6 см), із змінюваною поляризацією випромінювання, у діапазоні знімальних кутів від 15° до 45° .

Швидкість передачі супутника ENVISAT на земний сегмент становить 105 Мбіт/с.

Система RADARSAT. Космічні апарати цієї серії призначені для глобального всепогодного збору інформації про стан льодового покриву, океану, лісових масивів, оцінки врожаю та вивчення геологічних утворень.

Космічний апарат RADARSAT-1 виведений на сонячно-синхронну орбіту із висотою 798 км та нахилом $98,6^\circ$. RADARSAT-1 оснащений радаром бокового огляду із синтезованою апертурою, яка характеризується унікальними можливостями зміни ширини смуги зйомки та просторової роздільної здатності. Радар виконує зйомку земної поверхні в С-діапазоні довжин хвиль (5,6 см), із горизонтальною поляризацією випромінювання (H), в діапазоні знімальних кутів від 10° до 60° . Розрахунковий термін перебування на орбіті становить 7 років, однак апарат продовжує успішно працювати.

Космічний апарат нового покоління Radarsat-2 запуснений у 2007 році на сонячно-синхронну орбіту із висотою 798 км та нахилом $98,6^\circ$, із періодом обертання 100,7 хвилин. Супутник оснащений радаром бокового огляду із синтезованою апертурою, яка володіє унікальними можливостями зміни ширини смуги зйомки та просторової роздільної здатності.

Передача інформації із супутника RADARSAT-1 здійснюється двома каналами із частотами 8105 МГц та 8230 МГц, один із яких використовується для передачі в реальному часі, а інший із магнітофону.

Характеристики радіоліній передачі:

- загальна випромінювальна потужність - 11 дБВт;

- швидкість передачі даних - 105 Мбіт/с (у режимі безпосередньої передачі),

85 Мбіт/с (у режимі відтворення із магнітофону);

- максимальна спектральна густина потоку

випромінювання

- 65,3 дБВт/Гц;

- коефіцієнт підсилення бортової антени

- 9,4 дБ;

- поляризація

- права кругова;

- діаметр рефлектору типової наземної приймальної антени - 10 м.

4.4 Космічні системи, метеорологічного спрямування

Метеосупутники в основному виводяться на геостаціонарні та низькі приполярні, синхронні Сонцю, орбіти. Дані супутники характеризуються середньою роздільною здатністю і широкою смугою огляду, тому система із одного або двох полярно- орбітальних супутників проводить щодобовий огляд всієї поверхні Землі.

Основними метеорологічними системами є низькоорбітальні: NOAA, “Метеор”, GOES, METEOSAT, GMS, FENGYUN-1, FENGYUN -2, INSAT та інші [1].

Розвиток підсистеми метеорологічних супутників на геостаціонарних орбітах тісно пов’язані із діючими під егідою Всесвітньої метеорологічної організації проектами створення глобальними системами спостереження за кліматом GCOS (Global Climate Observation System) і глобальної системи спостереження за океаном GOOS (Global Ocean Observations System).

Структура і принципи побудови підсистеми метеорологічних ШСЗ на геостаціонарних орбітах вибираються із врахуванням наступних основних вимог:

1) Число штучних супутників на геостаціонарній орбіті повинно бути достатнім, щоб забезпечити спостереження і доведення метеоінформації в межах широтного поясу 50° ПнШ – 50° ПдШ.

2) Збір метеорологічної інформації повинен проводитись безперервно.

3) Періодичність видачі споживачам оновлених метеоданих не повинна перевищувати 0,5 год.

Ці вимоги в повній мірі реалізуються підсистемою геостаціонарних ШСЗ із п’яти супутників: двох американських, європейського, російського та японського космічних апаратів.

Система NOAA. Перші метеорологічні апарати за програмою NOAA запускались в інтересах NASA ті міністерства оборони США. Дана система використовується для вирішення задач, пов’язаних із прогнозуванням погоди, а також отримання інформації, необхідної для сільського і лісового господарств, кліматології та океанографії, моніторингу стану навколишнього середовища, при вивченні навколоземного космічного простору, озонового шару і вмісту аерозолів у атмосфері, зйомки снігового та льодового покриття Землі. На супутниках NOAA встановлена апаратура збору даних із наземних

метеорологічних платформ, а також обладнання прийому сигналів “лиха” в рамках системи Компас/SARSAT.

На даний час система NOAA експлуатує космічні апарати серії ATN на основі вдосконаленої платформи Tiros-N. Орбітальний сегмент сучасної системи NOAA складається з двох космічних апаратів, гарантований термін служби яких становить 2 роки. Супутники виводяться на орбіту із нахилом $98,8^\circ$ та висотою (830-870) км.

Передача інформації реального часу відбувається у дециметровому та метровому діапазонах частот. Підсистема передачі даних S-діапазону включає три підсилювача потужністю 5,25 Вт, які підключені до трьох різних слабо-направлених антен. Дві антени, які працюють на частотах 1698 МГц та 1707 МГц, мають праву кругову поляризацію випромінювання, а третя антена забезпечує передачу сигналів на частоті 1702 МГц із лівою круговою поляризацією.

Передавач УКХ діапазону має вихідну потужність 5 Вт і працює на частоті 137,48 (137,62) МГц. Вибір однієї із частот передачі відбувається таким чином, щоб запобігти взаємному впливу сигналів, які передаються із двох різних супутників NOAA.

Система GOES. Геостаціонарна метеорологічна система GOES базується на двох космічних апаратах типу Goes. Дана система забезпечує отримання оперативної інформації про стан погоди, своєчасне виявлення небезпечних природних явищ, таких як урагани та сильні шторми, збір та ретрансляція у наземний центр обробки даних із наземних, морських та повітряних платформ моніторингу навколишнього середовища, а також отримання інформації про стан навколоземного космічного простору.

У ролі базових районів розміщення орбітального сегменту системи GOES вибрані ділянки геостаціонарної орбіти із підсупутниковими точками близько 75° ЗД (“східний” ШСЗ) та 135° ЗД (“західний” ШСЗ), завдяки чому здійснюється неперервне спостереження за територією США та Південної Америки, а також акваторій навколишніх океанів.

У ролі основної цільової апаратури на ШСЗ Goes першого покоління використовувався комплекс VISSR&VAS. Радіометр VISSR здійснював побудову зображення диску Землі в денний та нічний часи, а режим VAS використовувався при проведенні експериментальних вимірювань. Зображення формувалось завдяки власному повертанню ШСЗ (горизонтальна розгортка) і за рахунок покрокового сканування оптичною системою телескопу (вертикальна розгортка).

Передача зображень від камер Imager та Sounder передаються радіолінією у діапазоні 1,7 ГГц. Передача сигналів у режимі WIMAX зі супутників Goes 1-M здійснюється на частоті 1691 МГц. Кожні півгодини із супутника може бути передано 13 зображень, при цьому наземна станція CDAS забезпечує ретрансляцію через супутник Goes зображення в режимі WIMAX на протязі одного півгодинного інтервалу (синоптичного напрямку). Зображення передаються із CDAS на штучний супутник радіолінією частотою 2033 МГц.

Система METEOSAT. Система METEOSAT призначена для вирішення задач глобального метеорологічного забезпечення споживачів у європейському, азіатському та африканському регіонах. На даний час на орбіті знаходяться ШСЗ другого покоління MSG. Супутники METEOSAT вирішують такі основні задачі:

- 1) отримання багатоспектральних зображень із покращеною просторовою, часовою та спектральною роздільною здатністю;
- 2) отримання зображень у видимому діапазоні спектру, необхідних для середньомасштабного конвекційного аналізу атмосфери над Європою;
- 3) аналіз динаміки переміщення повітряних мас та отримання текучих прогнозів на основі проведення зйомок у діапазонах, які відповідають лініям поглинання води та вуглекислого газу;
- 4) отримання інформації дистанційного зондування, необхідної для проведення кліматичного моніторингу та контролю стану навколишнього середовища.

Основною цільовою апаратурою даної системи є:

вдосконалена камера видимого та інфрачервоного діапазонів SEVIRI;
апаратура дослідження енергетичного балансу Землі GERBI;
радіометр видимого та інфрачервоного діапазонів MVIRI.

Радіолінії передачі інформації, передбачені в космічних апаратах системи METEOSAT, функціонально можуть бути розділені на канали передачі наступних даних: зображень реального масштабу часу; метеоінформації, яка пройшла попередню обробку в наземному центрі; метеоінформації, яка передається в рамках служби MDD; переданих даних із наземних платформ DCP, а також телеметричної та командно-програмної інформації.

Зображення у реальному часі передаються на частоті 1686 МГц радіоканалом із такими характеристиками:

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| - вид модуляції | ЧФМ; |
| - швидкість маніпуляції | 666 кБіт/с; |
| - швидкість передачі інформації | 333 кБіт/с; |
| - вид шифрування | ЧІФ; |
| - передаюча інформація | має кадрову структуру; |
| - довжина слова | 16 біт. |

Після обробки зображень у наземному центрі інформація передається на супутник двома каналами: “канал-1” – 2101 МГц, “канал-2” – 2105 МГц. Ретрансляція оброблених зображень споживачам також передається двома каналами. У режимі WEMAX зображення передаються радіолінією із частотою (1691 та 1694) МГц, частотною модуляцією та лінійною поляризацією.

Система Gms. Японська система Gms забезпечує спостереження тихоокеанської зони і, частково, зони Індійського океану за допомогою одного оперативного космічного апарату Gms, який виведений у район із підсупутниковою точкою 140° СД. Супутники Gms розраховані на 5-ти річний термін функціонування і виготовляються на базі платформи ШСЗ Goes першого покоління.

Усі космічні апарати серії Gms оснащуються апаратурою типу DCS, яка призначена для прийому і ретрансляції метеоінформації із морських, повітряних та наземних метеорологічних платформ.

У склад антенної системи супутників Gms входить спіральна антена НВЧ-діапазону, ненаправлена (біконічна) та гостронаправлена (параболічна) антени S-діапазону. Спіральна антена НВЧ діапазону служить для приймання на частоті 402 МГц інформації із метеорологічних платформ з наступною переретрансляцією її споживачам на частоті 468 МГц.

За допомогою гостронаправленої параболічної антени на основну наземну станцію CDAS (Command and Data Acquisition Station) передаються цифрові зображення у реальному часі, інформація від монітору космічного середовища SEM та телеметричні дані. При цьому цифрові зображення передаються зі швидкістю 14 Мбіт/с радіолінією “супутник-Земля” з центральною частотою біля 1688 МГц, а телеметрія передається зі швидкістю 1 кБіт/с на частоті 2280 МГц.

Слабонаправлена біконічна антена S-діапазону служить для приймання на частоті 2100 МГц командно-програмної інформації із наземного центру керування, а також для передавання інформації дистанційного зондування користувачам.

Система INSAT. Система Індії INSAT є єдиною в світі супутниковою системою, в склад якої входять геостаціонарні космічні апарати, оснащені як зв'язковими ретрансляторами, так і апаратурою дистанційного зондування Землі. Характерною особливістю є також те, що інформація ДЗЗ із супутників INSAT передається не в стандартних форматах, прийнятих для геостаціонарних метеорологічних систем, а радіоканалами в смузі частот зв'язкових ретрансляторів.

У склад орбітального сегмента системи входять, як правило, один оперативний та до трьох резервних космічних апаратів. У даний час на орбіті перебувають супутники другого покоління Insat-2. Основним пристроєм дистанційного зондування на цих супутниках є двоканальний пасивний радіометр VHRR.

Передача даних дистанційного зондування із радіометра VHRR здійснюється на частоті 4501,5 МГц зі швидкістю 526,5 кБіт/с. Для забезпечення національного зв'язку, ретрансляції метеоданих та передачі телеметричної інформації використовується 18-ти канальний комплекс FSS, у склад якого входять 12 передавачів на ТТПУ потужністю 4,5 Вт, які працюють у діапазоні (3705-4185) МГц, та 6 передавачів (3 з них резервні), які працюють у діапазоні (4510-4750) МГц. Приймально-передаюча антенна комплексу FSS формує глобальний промінь, який повністю покриває всю територію Індії. Ширина смуги частот кожного стволу ретранслятора складає 36 МГц.

Система МЕТЕОР. На даний момент на орбіті перебувають супутники серії Метеор-3М та супутник Метеор-М. Установлені на борту супутника Метеор-3М багатоканальні скануючі пристрої із високою (40 м) та середньою просторовою роздільною здатністю (225 м) дають можливість використовувати

даний космічний апарат для вирішення метеорологічних, природних та ресурсних задач.

До складу цільової апаратури супутника входять:

скануюча телевізійна апаратура із системою запам'ятовування для отримання глобальної інформації МР-2000М1;

інфрачервоний сканер для отримання глобальної інформації та зображень у режимі АРТ (КЛІМАТ);

мікрохвильовий радіометр інтегрального зондування вологості атмосфери (МІВЗА);

мікрохвильовий радіометр зондування температури та вологості атмосфери (МТВЗА);

комплекс геофізичних вимірювань КГІ-4С;

апаратура вимірювання геоактивних випромінювань МСГІ-5ЕІ;

ультрафіолетовий спектрометр СФМ-2;

багатоканальний скануючий пристрій високої роздільної здатності МСУ-Є;

багатоканальний скануючий пристрій середньої роздільної здатності;

МСУ-СМ для визначення вертикального розподілу аерозолей та малих газових компонент атмосфери SAGE-III.

На рисунку 4.3 показана структурна схема наземного комплексу приймання та обробки інформації від супутника Метеор-3М.

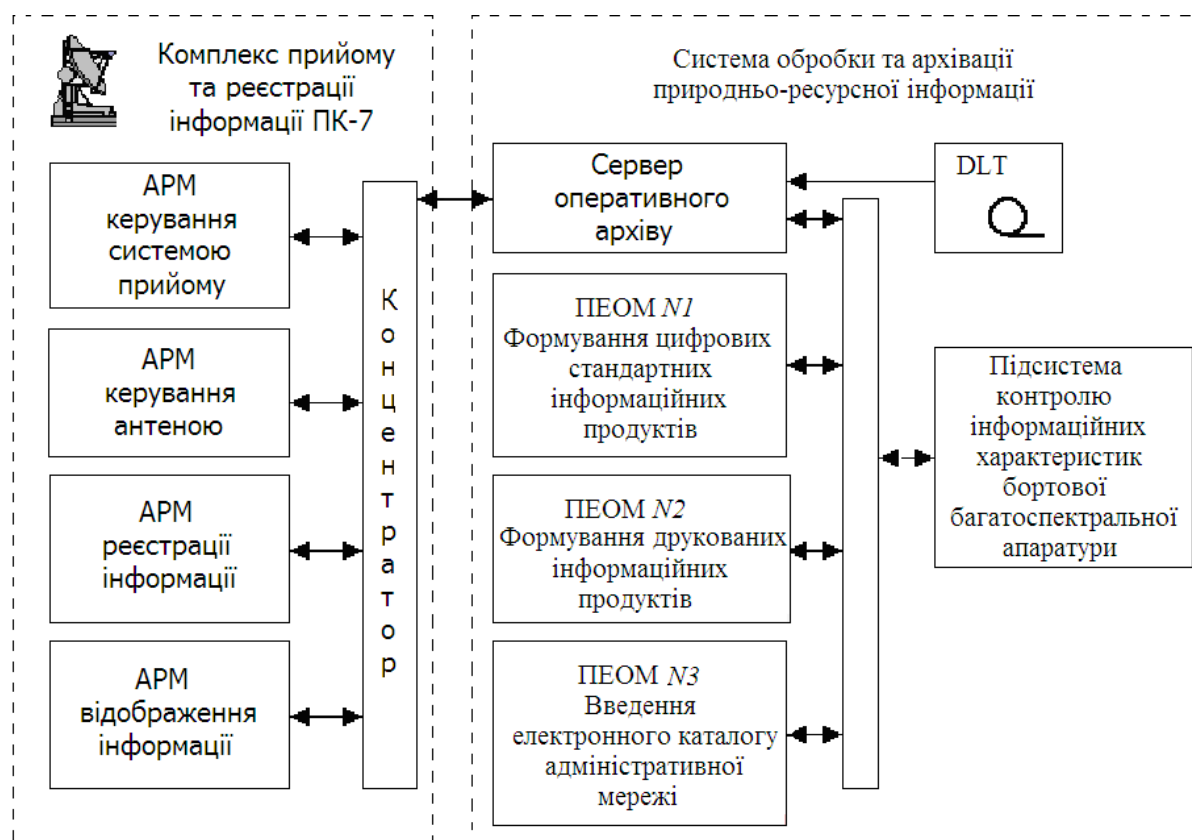


Рисунок 4.3 Структурна схема наземного комплексу

У склад наземного комплексу прийому та обробки інформації супутників Метеор-3М входять:

- комплекс прийому та реєстрації космічної інформації ПК-7;
- система обробки та архівації природної та ресурсної інформації (апаратура МСУ-Є та МСУ-СМ);
- система поширення інформації;
- локальна мережа передачі даних.

Комплекс прийому та реєстрації інформації ПК-7 забезпечує прийом сигналів, які передаються із супутника радіолінією у частотному діапазоні (8,0-8,4) ГГц, їх демодуляцію, дешифрування та реєстрацію прийнятої інформації на диски ЕОМ у формі файл-поток.

Комплекс складається із антенної та приймально-реєструючої систем. Приймальний тракт виконаний за схемою із подвійним перетворенням частоти. При першому перетворенні, яке виконується за допомогою гетеродина із фіксованою частотою, спектр частот приймальних із супутника радіосигналів діапазону (8,025-8,4) ГГц переноситься у діапазон першої проміжної частоти $f_{пч1}$ у межах 2 ГГц. Формування частоти гетеродина відбувається на базі опорної частоти $f_{оп}$ по схемі ФАПЧ.

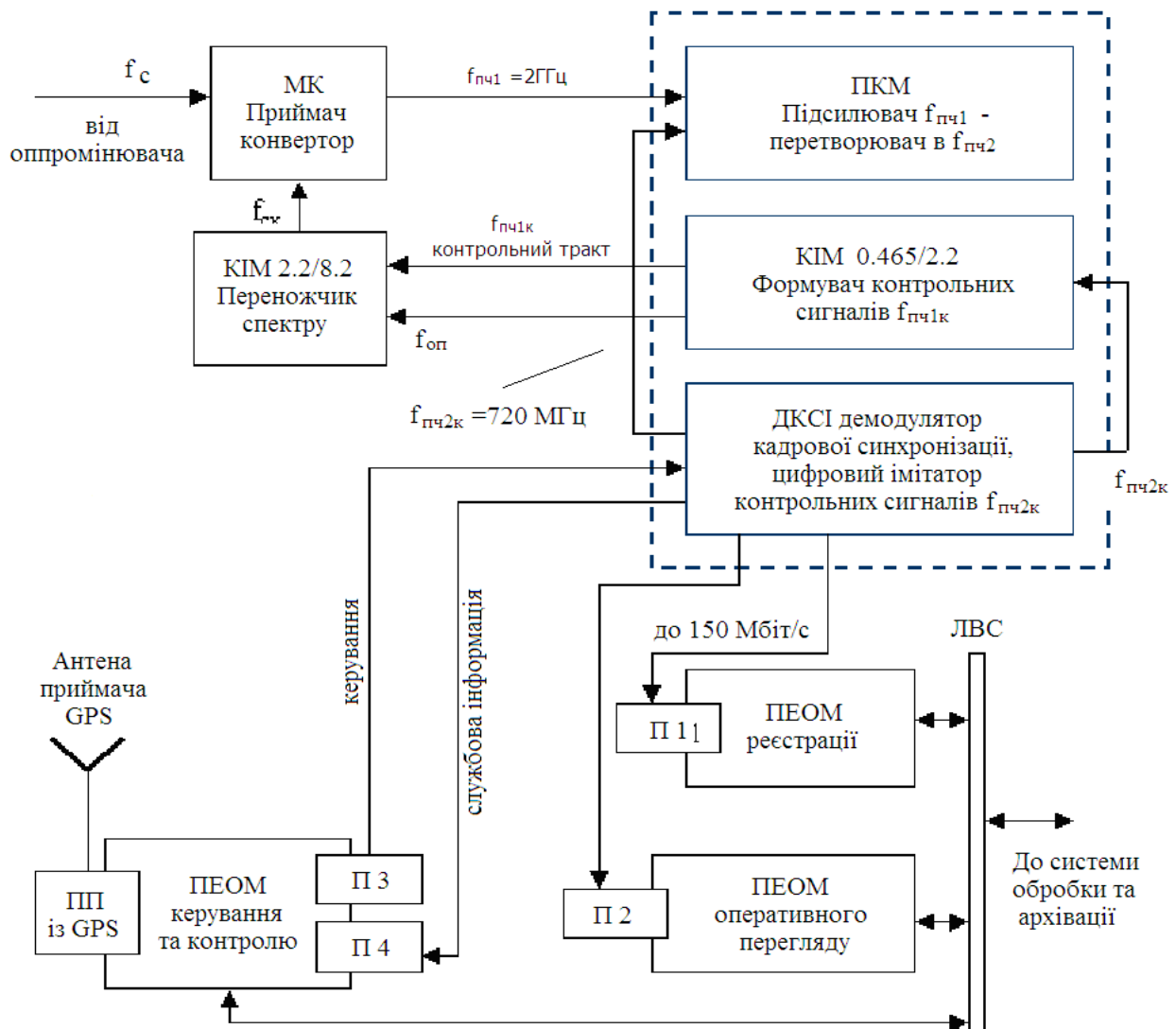


Рисунок 4.4 Схема приймальної станції комплексу ПК-7

Основними задачами супутників Метеор-3М є:

- отримання глобальних і регіональних зображень хмарності у видимому та інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектру для синоптичного аналізу та уточнення синоптичних процесів (МР-2000М, Клімат);
- отримання глобальних і регіональних даних про температуру поверхні океану та висоту верхньої границі хмарності (Клімат);
- визначення місцезнаходження та динаміки переміщення атмосферних вітрів (МР-2000М, Клімат);
- отримання даних про льодову обстановку на акваторіях морів та океанів, границях снігового покриву (Клімат, МТВЗА);
- отримання глобальних даних про температурне зондування атмосфери (МТВЗА), зони інтенсивних осадків, інтегральну водоемність хмар (МІВЗА) та ін.

4.5 Космічні системи моніторингу океану та дослідження атмосфери Землі

Супутникові системи моніторингу океану призначені для проведення неперервних вимірювань ряду характеристик, пов'язаних із продуктивністю та температурою поверхні океану, океанськими течіями, поверхневими вітрами та висотою океанських хвиль.

Пристроями ДЗЗ, які використовуються на океанографічних супутниках для вимірювання кольору поверхні океану є спеціальні багатоканальні радіометри, які призначені для побудови зображень у діапазонах спектру, оптимізованих із врахуванням необхідності визначення наведених вище характеристик. Як правило, діапазони вибираються у видимій та ближній інфрачервоній ділянках спектру (0,4-0,8) мкм і мають ширину декілька нм. Просторова роздільна здатність радіометра для вивчення океанської поверхні найчастіше є невисокою. Також у даних системах досить широко використовується апаратура радіолокаційного зондування: скатерометри, висотоміри, радіолокатори із реальною та синтезованою апертурою.

Найбільшими системами моніторингу океану є: MOS, TOPEX/POSEIDON, SEASTAR, "ОКЕАН".

4.6 Космічна програма дистанційного зондування EOS

Програма EOS стартувала на початку 80-их років у США. Дана система є найважливішим елементом проекту MTPE (Mission To Planet Earth, "Місія до планети Земля"), який проводиться американським космічним агентством. У рамках проекту MTPE у відповідності із програмою Earth Probes здійснюється створення цілого ряду легких супутників та сенсорів дистанційного зондування Землі, розміщених у ролі додаткових цільових пристроїв на космічних апаратах інших систем дистанційного зондування.

У рамках програми EOS здійснюється усестороннє дослідження атмосфери, океанів, кріосфери, біосфери та поверхні Землі, а також виконується ряд експериментів, пов'язаних із вивченням особливостей енергетичного балансу планети, глобального водообороту і біогеохімічного циклу.

Роботи по програмі EOS виконуються за трьома основними напрямками:

- розвиток наукових галузей, пов'язаних із вивченням глобальних природних та антропогенних процесів (EOS Science);
- створення глобальної інформаційної системи (EOSDIS);
- послідовний вивід на орбіту космічних апаратів серії EOS (EOS Flights).

У рамках програми EOS проектується велика кількість супутникових апаратів: Eos-AM, PM, Color, Aero, Chem, Alt, Altr.

4.7 Обробка зображень дистанційного зондування Землі

Відновлення (корекція) зображень. Основною задачею відновлення зображень є виправлення отриманих даних для досягнення якомога більш правдивого зображення земної поверхні [2]. Зображення містять цілий ряд випадкових, системних та систематичних спотворень, пов'язаних із впливом атмосфери, кривизною Землі та рухом знімального апарату відносно її поверхні в момент зйомки, фізичними характеристиками використовуваних сенсорів та каналів зв'язку.

Для виправлення цих спотворень, із врахуванням їх специфіки, використовується корекція декількох видів:

- радіаційна;
- радіометрична;
- геометрична;
- калібрування.

Радіаційне відновлення пов'язано із корегуванням кількості електромагнітної енергії, яка приймається кожним сенсором, оскільки атмосфера не однаково пропускає випромінювання різних ділянок спектрального діапазону.

Калібрування полягає у перетворенні безрозмірних даних, отриманих від сенсорів окремих спектральних зон в істинні нормалізовані значення відбитої або випромінюваної енергії.

Радіометрична корекція пов'язана із зменшенням спотворень, які вносяться самими сенсорами і пристроями передачі та прийому даних (системних спотворень).

Геометрична корекція або трансформування зображень призначена для зменшення спотворень, які виникають внаслідок кривизни та обертання Землі, а також кута нахилу орбіти супутника до площини екватора. Цей вид корекції на першому етапі може виконуватися автоматично у відповідності з інформацією про параметри орбіти супутника. Більш точна трансформація та прив'язка зображення до визначеної координатної сітки зазвичай виконується із використанням інтерактивно заданих опорних точок. У процесі

трансформування відбувається перерахунок значень пікселів на нову сітку растру. При цьому форми об'єктів на зображенні в більшій чи меншій мірі змінюються, а рамка зображення із звичайної прямокутної перетворюється в паралелепіпед або в більш складну фігуру із криволінійними границями. Часто для представлення та сумісної обробки матеріалів різних видів (типів) зйомок, а також різночасових зображень однієї і тієї ж території, використовується проекція, яка називається ортопланом. Вона використовується у світовій практиці в ролі обмінного стандарту. При геометричній корекції фотографічних зображень високої роздільної здатності зменшуються спотворення, які виникають під впливом рельєфу місцевості.

Попередня обробка зображень. Основне призначення цієї групи операцій - модифікація даних із метою покращення зорового сприйняття зображення, або перетворення його в форму, більш зручну для подальшого візуального або комп'ютерного аналізу. За особливостями організації обробки даних, операції цієї групи можна розбити на декілька типів.

До першого типу відносяться модифікації значень кожного окремого пікселя, які виконуються, як правило, із використанням табличного способу представлення перетворюючої функції (таблиця перекодування). Різні види лінійного та нелінійного контрастування, призначені для покращення візуального сприйняття зображень, є характерними представниками даних перетворень.

Другий тип - це локальні операції, особливістю яких є модифікація значення кожного елементу зображення із використанням значень сусідніх пікселів у якій-небудь обмеженій (локальній) області. Типовими перетвореннями цього виду є операції фільтрування зображень. Згладжуючі або низькочастотні фільтри дозволяють зняти шум та видалити малі деталі. Це дозволяє отримати більш однорідні ділянки зображення, придатні для подальшої обробки із метою виявлення певних об'єктів. Високочастотні фільтри призначені для виділення або підкреслення перепадів значень пікселів, що використовується при пошуку на зображенні границь об'єктів та виявленні різних структур, які проявляються у вигляді зсуву або перепаду значень елементів зображення. До групи операцій перетворення геометричних характеристик зображень відносяться:

- монтування зображень із окремих фотографій або їх фрагментів;
- вирізання потрібного фрагменту;
- компресія зображення або його розтяг;
- трансформація зображення в яку-небудь картографічну проекцію.

Третій вид операцій призначений для створення різних кольорових композицій, оптимальних для візуального сприйняття. Ця група перетворень дозволяє отримати кольорові зображення у віртуальних умовних та псевдокольорах, що є одним із способів обробки багатомірних зображень.

Класифікація. Класифікація - це тематична обробка, яка дозволяє проводити автоматизоване розбиття зображення на однорідні по певному критерію області (класи об'єктів) [5]. Отримане при цьому зображення називається тематичною картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно

інтерпретуючі класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування.

Процедура класифікації найчастіше всього полягає в статистичному аналізі різних характеристик зображення: просторових, спектральних або часових.

До простіших корисних просторових характеристик відносяться: текстура, контекст, форма та структурні співвідношення.

Під часовими характеристиками слід розуміти сезонні зміни земної поверхні (особливо рослинності), які можуть бути їх індикаторами. Однак прийнято вважати, що основну інформацію про природу об'єктів на земній поверхні містять їх спектральні характеристики. Тому в більшості відомих алгоритмів класифікації використовуються спектральні образи (сигнатури) типів поверхонь.

Розрізняють два основних методологічних підходи до проведення класифікації: класифікацію із навчанням та автоматичну класифікацію. У випадку класифікації із навчанням, задача полягає в знаходженні на зображенні об'єктів вже відомих типів, що потребує деяких попередніх знань про досліджувану ділянку земної поверхні. На першому етапі процедури необхідно інтерактивно вибрати на зображенні еталонні ділянки, які є характерними (типовими) представниками виділених класів об'єктів. Етап навчання полягає фактично в розрахунку та аналізі деякого набору статистичних характеристик розподілу значень пікселів, які складають ці полігони. Однак більшою популярністю користується інший вид класифікації, який не потребує додаткової наземної інформації і глибокого знання дистанційних методів обробки. Методологічною основою автоматичної класифікації є кластерний аналіз, у ході якого намагаються визначити всі типи об'єктів при деякому рівні узагальнення (вибраних критеріях об'єднання, розділення або числа класів). Задача їх інтерпретації вирішується на другому етапі. Існують алгоритми, які поєднують елементи автоматичну класифікацію із навчанням.

За способом віднесення окремих елементів зображення до певного класу об'єктів, розрізняють строгі та м'які класифікатори. У випадку строгих (традиційних) класифікаторів, приймається строго визначене рішення відносно приналежності пікселів до деякого класу. М'які ж класифікатори оцінюють ймовірність, із якою аналізований елемент зображення може належати всім наявним класам поверхонь (включаючи і невідомі). Сучасні класифікатори дозволяють також вводити елемент невизначеності на різних стадіях процесу, що допускає присутність змішаних класів поверхонь у кожному окремому пікселі (субпіксельна класифікація). Ще один порівняно новий вид класифікації пов'язаний із обробкою гіперспектральних даних. Такі дані надходять із систем ДЗЗ, які працюють із дуже вузькою шириною зон традиційного спектрального діапазону, що збільшує кількість спектральних каналів до десятків або сотень. У цьому випадку для автоматизованого виділення класів об'єктів поверхонь використовуються бібліотеки спектральних кривих різних земних матеріалів.

Часто виникає необхідність тематичного корегування результатів класифікації, особливо автоматичної, яка виконується за інформаційними характеристиками об'єктів. Для цього використовується цілий набір процедур, які називаються операціями після класифікаційної обробки: злиття класів, розділення класів, видалення малих побічних об'єктів, згладжування границь об'єктів і ін.

Важливим етапом у процесі класифікації є оцінка точності отриманих зображень, яка може виконуватися як за даними польових вимірювань, так і шляхом порівняння із відповідними тематичними картами.

Дана область обробки зображень у теперішній час доволі інтенсивно розвивається: появляються нові класифікатори, які базуються на останніх досягненнях в області моделювання штучного інтелекту та інших областях прикладної математики (наприклад, нейронні мережі).

Перетворення зображень. Ця група операцій дозволяє створювати нові (вторинні) зображення в процесі математичних перетворень декількох спектральних зон вихідного (первинного) зображення. Даний вид операцій часто називають алгеброю зображень. Одним із широко використовуваних вторинних зображень є різні вегетаційні індекси, які вираховуються як лінійна комбінація інфрачервоного та червоного спектральних каналів.

Ще одним прикладом вторинних даних є зображення головних компонент первинного зображення. Аналіз головних компонент використовується для перетворення декількох спектральних зон зображення таким чином, щоб нові зони вторинного зображення (які називаються компонентами) не корелювали один із одним та розміщувались в порядку спадання кількості інформації, яку вони містять. Кожна така компонента завжди містить тільки унікальну інформацію, причому перші декілька нових зон містять більшу частину інформації про первинне зображення.

Спеціалізована тематична обробка. До цієї групи відносяться операції виділення певних специфічних природних або антропогенних об'єктів. Зазвичай, такі об'єкти детектуються саме за їх характерними особливостями. До цього типу відносяться, наприклад: операції, призначені для виявлення та виділення лінійних або кільцевих структур.

5 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997.
2. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. – М: Логос, 2001.
3. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход. – М: Недра, 1983.
4. Матвеев И.Н., Протопопов В.В., Троицкий И.Н., Устинов Н.Д. Лазерная локация – М: Машиностроение, 1984.
5. John A. Richards, Xiuping Jia. Remote sensing digital image analysis. – Springer, 2006.

6 ДОДАТКИ



Рисунок 6.1. Фрагмент мікрохвильового сканування території земної поверхні



Рисунок 6.2 Фрагмент спектрального сканування території земної поверхні



КОМPSAT-1 EOC 6,6m



КОМPSAT-2 simulated MSC 1m

Рисунок 6.3 Приклади фрагментів різної роздільної здатності



Рисунок 6.4 Фрагмент стану водяної та приберегової поверхонь



Рисунок 6.5 Фрагмент екологічного контролю промислового об'єкту

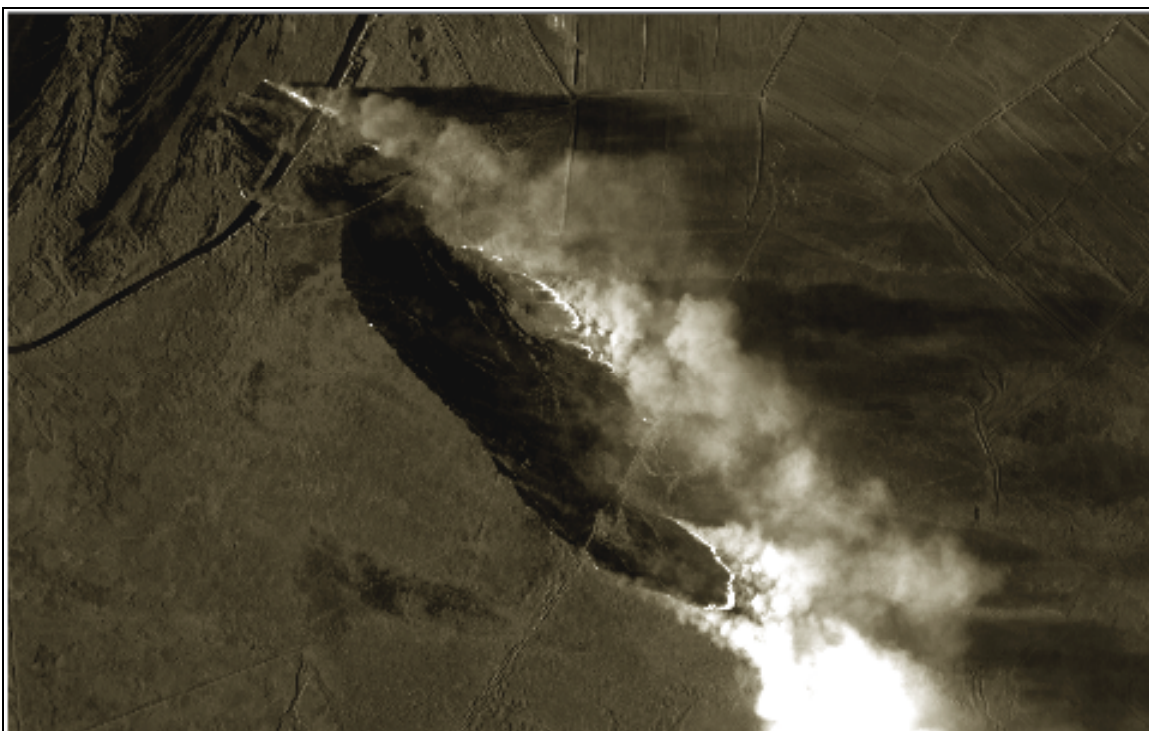
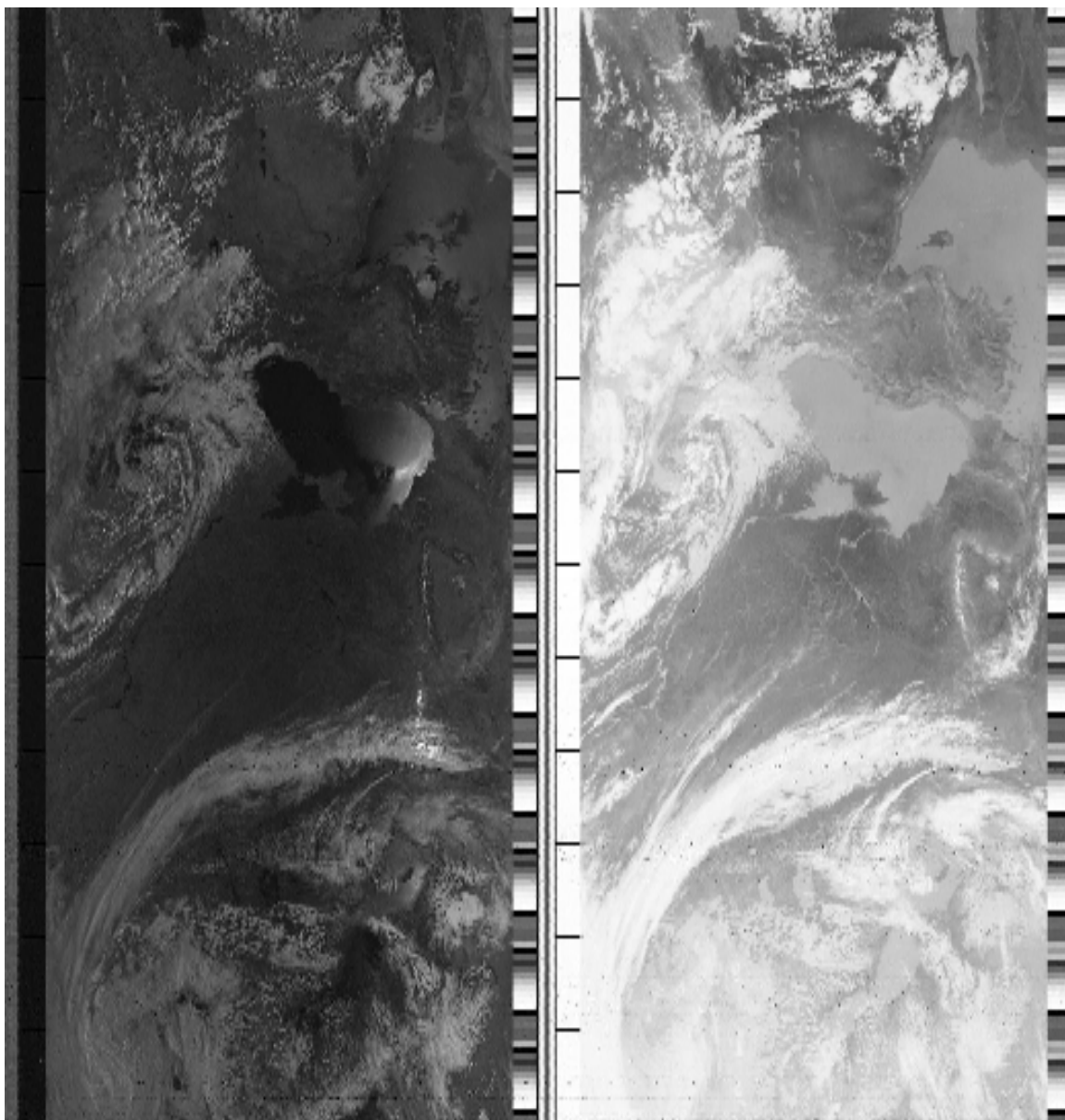


Рисунок 6.6 Фрагмент контролю пожежі у степовій зоні



*Рисунок 6.7 Фрагмент сцени із метеорологічного супутника NOAA
(спектральний та інфрачервоний канали сканування)*

[illegible]

[illegible]

Редактор *Є.І. Гриценко*
Коректор *О.О. Зелінський*
Комп'ютерне верстання *Н.Р. Шаблій*

Формат 60х90 Папір ксерокс ний.

Наклад 40 прим. Зам. №1857.

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №422 від 08.12.11.

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua